



TUGAS AKHIR – TL 141584

PENGARUH VARIASI ARUS DAN JENIS ELEKTRODA LAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN HASIL PENGELASAN BISCLAD 600 MENGGUNAKAN METODE SMAW

Redha Januar Ramadhan
NRP 02511440000008

Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

EFFECT OF CURRENT VARIATION AND TYPES OF WELDING ELECTRODE ON MICRO STRUCTURE AND HARDNESS OF BISCLAD 600 WELDING PRODUCTS USING SMAW

Redha Januar Ramadhan
NRP 02511440000008

Advisor
Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Faculty of Industry Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI ARUS DAN JENIS ELEKTRODA LAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN HASIL PENGELASAN BISCLAD 600 MENGGUNAKAN METODE SMAW

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Redha Januar Ramadhan

NRP. 02511440000008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI ARUS DAN JENIS ELEKTRODA
LAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN
KEKERASAN HASIL PENGELASAN BISCLAD 600
MENGUNAKAN METODE SMAW**

Nama Mahasiswa : Redha Januar Ramadhan
NRP : 02511440000008
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

ABSTRAK

Bisclad 600 merupakan jenis material yang terdiri dari material utama (baja karbon rendah) dan material pelapis(*cast iron*) disatukan dengan proses *cladding*. Material ini memiliki kekuatan yang tinggi dan ketahanan abrasi yang baik sehingga dapat diaplikasikan pada *casing Rotary Feeder*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh arus dan jenis elektroda las yang divariasikan terhadap struktur mikro, kekerasan, dan hasil las Bisclad 600. Pengujian yang dilakukan meliputi uji penetrant, uji kekerasan, uji makro, dan uji metalografi. Pengelasan dilakukan menggunakan variasi arus 80A, 90A, 100A, 110A dengan jenis elektroda ENi-CI, ENi-Fe-CI, dan 308L. Hasil sambungan yang memadai dan nilai kekerasan *weld* metal yang tertinggi sebesar 307HV pada arus 100A dengan jenis elektroda CIN-2. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan pada *weld metal*, semakin besar arus maka menghasilkan struktur mikro yang halus.

Kata kunci: *Bisclad 600, SMAW, arus, elektroda las, struktur mikro, kekerasan*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EFFECT OF CURRENT VARIATION AND TYPES OF WELDING ELECTRODE ON MICRO STRUCTURE AND HARDNESS OF BISCLAD 600 WELDING PRODUCTS USING SMAW

Name : Redha Januar Ramadhan
SRN : 02511440000008
Major : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

ABSTRACT

Bisclad 600 is a type of material consisting of the main material (low carbon steel) and coating material (cast iron) is joined with cladding process. This material has high strength and good abrasion resistance so it can be applied to Rotary Feeder casing. This study aims to analyze the influence of current and type of welding electrodes are varied on the microstructure, hardness, and welding results Bisclad 600. The tests include penetrant test, hardness test, macro test, and metallographic test. The welding is carried out using variations of currents 80A, 90A, 100A, 110A with ENI-CI, ENi-Fe-CI, and 308L electrodes. The result of good joinning and the highest hardness of weld metal is 307HV at 100A current with CIN-2 electrode type. Based on metallographic observation, finer microstructure was obtained with the increase of welding current.

Keyword: Bisclad 600, SMAW, current, welding electrode, microstructure, hardness

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat, hidayat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektroda Las terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Hasil Pengelasan Bislad 600 Menggunakan SMAW”**. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi mata kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik(S.T.) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi – Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, diantaranya:

1. Kedua Orang Tua serta kedua adik penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan moriil dan materiil, semangat, motivasi dan inspirasi kepada penulis.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. dan Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. dan Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan spiritual selama pengerjaan tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

5. Mas Essa Abubakar, S.T. selaku pihak perusahaan PT. Holcim Indonesia (Tuban Plant) yang banyak memberikan ilmu dan membimbing selama pengerjaan Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, Ph.D selaku dosen wali yang sangat mengayomi dan memberikan motivasi penulis menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
8. Tim Dosen Penguji seminar dan sidang tugas akhir, serta seluruh bapak dan ibu dosen dan karyawan di lingkungan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang tak kenal lelah dalam mendidik putra-putri terbaik bangsa ini.
9. Krishna Febianda yang telah memberikan banyak doa, kasih sayang, motivasi kepada penulis.
10. Angkatan MT16, Seluruh Anggota HMMT, Fruitchild, Suwisaid Sokuat, dan teman-teman lain yang sudah memberikan dukungan moral dan doa.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2018
Penulis,

Redha Januar Ramadhan
02511440000008

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Bisclad	5
2.2 Rotary Feeder.....	6
2.3 Klasifikasi Besi Cor.....	7
2.4 Besi Cor Putih	9
2.5 Pengaruh Unsur Paduan Kromium	11
2.6 Diagram Fasa	13
2.5 Kekerasan	18
2.6 Pengelasan	20
2.7 Pengelasan SMAW.....	22

2.8 Parameter Pengelasan	23
2.9 Siklus Termal	26
2.10 Preheat	27
2.11 Post Weld Heat Treatment.....	28
2.12 Pengelasan <i>Cast iron</i>	29
2.13 Cacat Las	32
2.14 Penelitian Sebelumnya.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1 Diagram Alir.....	41
3.2 Metode Penelitian.....	42
3.3 Bahan Penelitian	42
3.4 Peralatan Penelitian.....	44
3.5 Tahapan Penelitian	45
3.6 Rancangan Penelitian	51
3.7 Jadwal Penelitian	53
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Analisis Data.....	55
4.2 Pembahasan.....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	97
5.1 Kesimpulan.....	97
5.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA.....	xx
LAMPIRAN.....	xxiii
.....	xxiii
BIODATA PENULIS.....	xxix

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Material Bisclad.....	6
Gambar 2.2 <i>Rotary Feeder</i>	7
Gambar 2.3 Struktur mikro besi cor putih sebelum diberikan perlakuan panas dengan penampakan Fe_3C , perlit dan austenit.....	9
Gambar 2.4 Struktur mikro besi cor putih kromium tinggi. <i>Interdendritic network</i> karbida besi-krom (putih) dan dendritic martensite (abu-abu). 3% nital. 100x.....	10
Gambar 2.5 Besi cor putih kromium tinggi. Karbida krom eutektik tipe M_7C_3 . Etsa glyceresia. 500x	10
Gambar 2.6 Besi cor putih kromium tinggi. PC, <i>primary carbides</i> ; EC, <i>eutectic carbides</i> , keduanya tipe M_7C_3 . Etsa glyceresia. 500x.....	11
Gambar 2.7 Besi cor putih krom tinggi. Karbida eutektik dalam matriks austenit. Etsa glyceresia. 500x	11
Gambar 2.8 Struktur mikro besi cor putih paduan kromium tinggi dengan struktur karbida eutektik (EC), martensit (M).....	13
Gambar 2.9 Diagram Fasa Fe – Fe_3C	15
Gambar 2.10 Diagram Fasa Fe – 18% wt Cr – C.....	15
Gambar 2.11 Diagram Fasa Ni-C.....	16
Gambar 2.12 Diagram Fasa Fe-Ni.....	17
Gambar 2.13 Diagram Fasa Fe-Cr-Ni.....	18
Gambar 2.14 Penggunaan indenter pada masing-masing pengujian kekerasan.....	19
Gambar 2.15 Area struktural yang terbentuk pada (a) <i>fusion welding</i> dan (b) <i>nonfusion welding</i> antara logam murni (kanan) dengan paduan (kiri).....	22
Gambar 2.16 Prinsip kerja perpindahan logam pada proses SMAW.....	23
Gambar 2.17 Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las.....	26

Gambar 2.18	Temperatur yang dialami oleh berbagai zona mikrostruktur pada besi tuang las.....	30
Gambar 2.19	Cacat Porositas	32
Gambar 2.20	Cacat <i>Slag Inclusion</i>	32
Gambar 2.21	Cacat Las <i>Incomplete Fusion</i>	33
Gambar 2.22	Cacat Las <i>Cold Cracking</i>	34
Gambar 2.23	Cacat Las <i>Hot Cracking</i>	34
Gambar 2.23	Struktur mikro sampel material besi tuang putih krom tinggi dengan mikroskop optik pada kondisi <i>as-cast</i>	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	42
Gambar 3.2	Mesin <i>Wire Cut</i>	46
Gambar 3.3	Spesimen Pengelasan 3D.....	46
Gambar 3.4	Dimensi Spesimen Pengelasan (tampak <i>cross section</i>).....	47
Gambar 3.5	Mikroskop Optik.....	50
Gambar 3.6	Alat Uji Kekerasan.....	50
Gambar 3.7	Posisi titik uji kekerasan pada daerah pengelasan..	51
Gambar 4.1	Bisclad 600, arus 80 A dan elektroda CIN-1.....	55
Gambar 4.2	Bisclad 600, arus 90 A dan elektroda CIN-1.....	56
Gambar 4.3	Bisclad 600, arus 100 A dan elektroda CIN-1.....	56
Gambar 4.4	Bisclad 600, arus 110 A dan elektroda CIN-1.....	57
Gambar 4.5	Bisclad 600, arus 80 A dan elektroda CIN-2.....	57
Gambar 4.6	Bisclad 600, arus 90 A dan elektroda CIN-2.....	58
Gambar 4.7	Bisclad 600, arus 100 A dan elektroda CIN-2.....	58
Gambar 4.8	Bisclad 600, arus 110 A dan elektroda CIN-2.....	59
Gambar 4.9	Bisclad 600, arus 80 A dan elektroda 308L.....	59
Gambar 4.10	Bisclad 600, arus 90 A dan elektroda 308L.....	60
Gambar 4.11	Bisclad 600, arus 100 A dan elektroda 308L.....	60
Gambar 4.12	Bisclad 600, arus 110 A dan elektroda 308L.....	61
Gambar 4.13	<i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 80 A, dan elektroda CIN-1.....	62
Gambar 4.14	<i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 90 A, dan elektroda CIN-1.....	62
Gambar 4.15	<i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 100 A, dan elektroda	

CIN-1.....	63
Gambar 4.16 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 110 A, dan elektroda CIN-1.....	63
Gambar 4.17 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 80 A, dan elektroda CIN-2.....	64
Gambar 4.18 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 90 A, dan elektroda CIN-2.....	64
Gambar 4.19 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 100 A, dan elektroda CIN-2.....	65
Gambar 4.20 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 110 A, dan elektroda CIN-2.....	65
Gambar 4.21 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 80 A, dan elektroda 308L.....	66
Gambar 4.22 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 90 A, dan elektroda 308L.....	66
Gambar 4.23 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 100 A, dan elektroda 308L.....	67
Gambar 4.24 <i>Penetrant</i> Bisclad 600, arus 110 A, dan elektroda 308L.....	67
Gambar 4.25 Grafik perbandingan lebar <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	69
Gambar 4.26 <i>base metal</i> , arus 80 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	70
Gambar 4.27 HAZ, arus 80 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	70
Gambar 4.28 <i>weld metal</i> , arus 80 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	71
Gambar 4.29 <i>base metal</i> , arus 90 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	71
Gambar 4.30 HAZ, arus 90 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	72
Gambar 4.31 <i>weld metal</i> , arus 90 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	72
Gambar 4.32 <i>base metal</i> , arus 100 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	73

Gambar 4.33	HAZ, arus 100 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	73
Gambar 4.34	<i>weld metal</i> , arus 100 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	74
Gambar 4.35	<i>base metal</i> , arus 110 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	74
Gambar 4.36	HAZ, arus 110 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	75
Gambar 4.37	<i>weld metal</i> , arus 110 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x.....	75
Gambar 4.38	<i>base metal</i> , arus 80 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	76
Gambar 4.39	HAZ, arus 80 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	77
Gambar 4.40	<i>weld metal</i> , arus 80 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	77
Gambar 4.41	<i>base metal</i> , arus 90 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	78
Gambar 4.42	HAZ, arus 90 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	78
Gambar 4.43	<i>weld metal</i> , arus 90 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	79
Gambar 4.44	<i>base metal</i> , arus 100 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	79
Gambar 4.45	HAZ, arus 100 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	80
Gambar 4.46	<i>weld metal</i> , arus 100 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	80
Gambar 4.47	<i>base metal</i> , arus 110 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	81
Gambar 4.48	HAZ, arus 110 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	81
Gambar 4.49	<i>weld metal</i> , arus 110 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x.....	82
Gambar 4.50	<i>base metal</i> , arus 80 A dan elektroda 308L	

	perbesaran 500x.....	83
Gambar 4.51	HAZ, arus 80 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	83
Gambar 4.52	<i>weld metal</i> , arus 80 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	84
Gambar 4.53	<i>base metal</i> , arus 90 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	84
Gambar 4.54	HAZ, arus 90 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	85
Gambar 4.55	<i>weld metal</i> , arus 90 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	85
Gambar 4.56	<i>base metal</i> , arus 100 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	86
Gambar 4.57	HAZ, arus 100 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	86
Gambar 4.58	<i>weld metal</i> , arus 100 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	87
Gambar 4.59	<i>base metal</i> , arus 110 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	87
Gambar 4.60	HAZ, arus 110 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	88
Gambar 4.61	<i>weld metal</i> , arus 110 A dan elektroda 308L perbesaran 500x.....	88
Gambar 4.62	Nilai kekerasan elektroda CIN-1.....	91
Gambar 4.63	Nilai kekerasan elektroda CIN-2.....	91
Gambar 4.64	Nilai kekerasan elektroda 308L.....	92
Gambar 4.65	Keseluruhan nilai kekerasan	92

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rekomendasi Post Weld Heat Treatment.....	29
Tabel 2.2 Parameter dan Prosedur pengelasan besi cor dengan SMAW.....	35
Tabel 2.3 Parameter Las dengan Elektroda yang berbeda.....	36
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Substrat Bisclad 600.....	43
Tabel 3.2 Komposisi Kimia pada Pelapis Bisclad 600.....	43
Tabel 3.3 Komposisi kimia elektroda ENi-CI (CIN-1)	43
Tabel 3.4 Sifat mekanik elektroda ENi-CI (CIN-1)	43
Tabel 3.5 Komposisi kimia elektroda ENi-Fe-CI (CIN-2)	43
Tabel 3.6 Sifat mekanik elektroda ENiFe-CI (CIN-2)	43
Tabel 3.7 Komposisi Kimia Elektroda E308L.....	44
Tabel 3.8 Sifat mekanik elektroda 308L.....	44
Tabel 3.9 Parameter Pengelasan.....	45
Tabel 3.10 Rancangan Penelitian.....	52
Tabel 3.11 Jadwal Penelitian.....	53
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Makro.....	68
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Lebar HAZ.....	69
Tabel 4.3 Hasil Struktur Mikro HAZ dan <i>Weld Metal</i>	89
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Bisclad 600.....	90

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material cladding merupakan jenis material yang terdiri dari material utama dan material pelapis. Cladding ini bertujuan untuk melapisi material agar tahan dengan lingkungan sekitarnya. Salah satu contohnya adalah Bisclad 600, material ini merupakan gabungan dua logam berbeda yang terdiri dari baja karbon rendah sebagai substratnya dan besi tuang putih krom tinggi sebagai pelapis(*hardfacing*) disatukan dengan proses *cladding*. Material ini umumnya pada bagian pelapis memiliki kadar karbon sebesar 2,29% dan kandungan krom sebesar 12,72%. Dengan komposisi tersebut material ini termasuk besi tuang putih krom tinggi. Hal ini yang menyebabkan material tersebut memiliki kekuatan yang tinggi dan ketahanan abrasi yang baik. Bisclad 600 biasa digunakan untuk pemakaian pada aplikasi *casing Rotary Feeder*.

Pada saat ini, terdapat beberapa masalah yang terjadi saat melakukan pengelasan pada material Bisclad. Masalah yang muncul antara lain tidak menempelnya sambungan las pada bagian pelapis dan keretakan pada bagian hasil las diakibatkan pendinginan yang cepat. Hal ini dikarenakan material pelapisnya adalah besi cor, sedangkan pada bagian substratnya tidak bermasalah.

SMAW (Shield Metal Arc Welding) adalah salah satu pengelasan yang cukup sering digunakan karena pengoperasiannya yang lebih mudah, lebih praktis, dan dapat digunakan di berbagai macam posisi untuk menggabungkan material yang memiliki ketebalan tipis dalam industri manufaktur. Pengelasan besi cor memiliki tingkat kesulitan yang tinggi sehingga butuh perlakuan khusus. Pada kasus ini yang menjadi perhatian utamanya adalah besi cor. Parameter pengelasan dan bahan yang tepat sangat dibutuhkan untuk mencegah terjadinya



masalah-masalah tersebut. Oleh karena itu, arus pengelasan yang optimal dan pemilihan elektroda yang tepat dibutuhkan sebagai parameter pengelasan SMAW Bisclad 600 untuk mengurangi cacat las dan mendapatkan sifat mekanik yang baik. Arus pengelasan mempengaruhi morfologi, struktur mikro, sifat kekerasan, dan bentuk sambungan las Bisclad 600 diuji pada penelitian ini. Elektroda mempengaruhi kualitas hasil las yang baik serta mencegah terjadinya cacat las dengan pemilihan elektroda yang sesuai.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh arus dan jenis elektroda terhadap penyambungan Bisclad 600 dengan menggunakan metode SMAW?
2. Bagaimana pengaruh arus dan jenis elektroda las terhadap struktur mikro hasil pengelasan Bisclad 600 dengan menggunakan metode SMAW?
3. Bagaimana pengaruh arus dan jenis elektroda las terhadap sifat kekerasan hasil pengelasan Bisclad 600 dengan menggunakan metode SMAW?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tegangan, sudut, dan travel speed pengelasan dianggap konstan.
2. Material yang diteliti bagian *cast iron*.
3. Tempat pengelasan (*indoor/outdoor*) diabaikan.
4. *Backweld* pada substrat agar tidak menggeser posisi spesimen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:



1. Menganalisa pengaruh arus dan jenis elektroda las terhadap hasil penyambungan Bisclad 600 dengan menggunakan metode SMAW.
2. Menganalisa pengaruh arus dan jenis elektroda las terhadap struktur mikro hasil pengelasan Bisclad 600 dengan menggunakan metode SMAW.
3. Menganalisa pengaruh arus dan jenis elektroda las terhadap sifat kekerasan hasil pengelasan Bisclad 600 dengan menggunakan metode SMAW.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menjadi acuan dalam memprediksikan kekuatan hasil las, pemilihan material, mengetahui pengaruh variasi yang diujikan, serta pengembangan lain dalam bidang teknologi pengelasan di masa yang akan datang.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Bisclad

Bisclad merupakan jenis *low carbon steel* dengan permukaan atasnya dilapisi paduan karbida dengan menggunakan paduan karbida tinggi. Adanya karbida krom pada permukaan membuat jenis baja ini cocok digunakan pada kondisi dengan tingkat abrasi yang tinggi pada permukaannya. Bisclad yang diproduksi oleh Bisma Alloy and Steel terdiri dari 2 *grade* yaitu *grade 600* dan *grade 700*. *Grade 600* digunakan untuk kondisi abrasi lurus sedangkan untuk *grade 700* digunakan untuk kondisi abrasi tinggi dan memiliki ketahanan impak yang baik. Adapun secara umum, material bisclad ini digunakan untuk aplikasi pelat tahan aus pada *Drag Line*, *Shovel*, *Hopper*, *Chute*, *Housing*, pelat peluncur, deflector, pipa sluri, dan pipa debu.

Dalam proses fabrikasi, bisclad dapat dikenai proses pengerolan, ditekuk, dan dilas menggunakan kawat elektroda dengan kadar hidrogen yang rendah seperti kawat las dengan tipe E7018 dan dapat pula dipotong dengan menggunakan busur plasma. Pemotongan dengan menggunakan busur plasma dilakukan pada bagian *low carbon steel*. Jika pemotongan dilakukan dari bagian yang terdapat lapisan material hasil *cladding*, maka bagian *low carbon steel* akan terkontaminasi dengan kromium karbida. Hal ini kemudian dapat menyebabkan plat baja menjadi rapuh. (Bisalloy, 2007).

Pada bagian substrat dari baja karbon rendah, sedangkan pada bagian lapisan yaitu *High Chromium White Cast Iron*. Besi cor kromium putih tinggi termasuk yang khas bahan tahan aus dan memiliki aplikasi industri besar. Besi cor kromium putih yang tinggi dicampur dengan 12 - 35% kromium untuk mencapai ketahanan aus yang superior dan ketahanan korosi. Bahannya menawarkan korosi yang baik resistensi dan ketahanan abrasi tinggi akibat tinggi konsentrasi kromium dalam matriks dan keberadaan karbida eutektik (M_7C_3). (Fernandez, 2008). Secara umum, mikrostruktur besi cor putih kromium tinggi. Besi terdiri



dari hard eutectic carbides (M_7C_3) dan primer karbida (M_3C) dalam matriks ferrous martensit dengan beberapa mempertahankan austenit. Perbedaan di antara keduanya adalah kekerasan matriks mereka, jumlah karbida kromium dan morfologi karbida eutektik. (Jansen dkk, 1985).



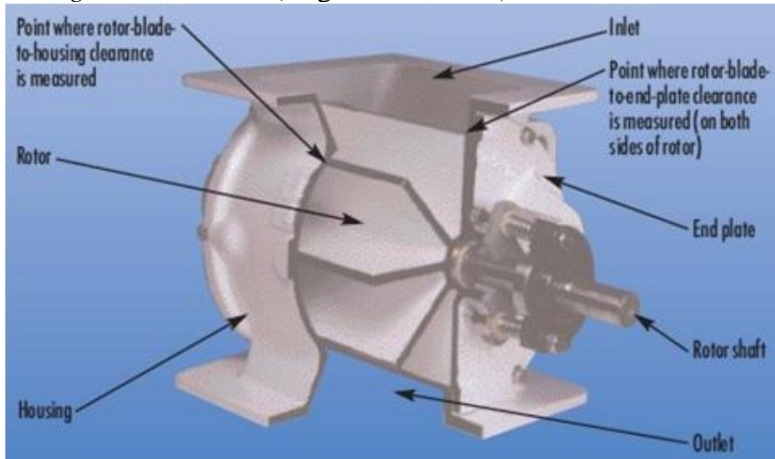
Gambar 2.1 Material Bisclad(Bisalloy, 2007)

2.2 Rotary Feeder

Fungsi utama dari Rotary Feeder adalah mengatur aliran material dari satu ruang ke ruang lain dengan mempertahankan kondisi yang baik. Bahan atau produk yang ditangani biasanya terdiri dari serbuk kering, debu atau butiran. Dalam operasi, motor dan rantai penggerak memutar poros rotor dan kemudian diteruskan ke shaft untuk memutar piringan/pisau yang berputar. Saat pisau memutar, volume material yang konstan melewati *rotary feeder* masuk ke ruang antara baling-baling yang berdekatan (disebut *rotor pocket*) dan dibawa masuk ke kantong outlet material. Rotary Feeder digunakan di bagian bawah *Bins*, *Cyclones*, *Dust Collectors* atau *Feed Hoppers* untuk melepaskan material pada kecepatan aliran yang terkendali dari *inlet* menuju *outlet*. Sebuah *Rotary Feeder* terdiri dari sebuah rotor dengan kecepatan putaran tertentu dalam RPM dan bagian *casing/housing* berfungsi untuk menahan aliran material dari *inlet* menuju *outlet*. Pada bagian *casing/housing* ini umumnya menggunakan material



besi cor, baja karbon, SS 306, dan SS 316. *Rotary Feeder* memiliki kemampuan kerja pada tekanan tinggi, temperatur tinggi dan kondisi lainnya. *Rotary feeder* dapat digunakan di berbagai industri seperti makanan, plastik, kimia, aspal, pertambangan, *baking*, semen dan cat.(Nagulmeera, 2013).



Gambar 2.2 *Rotary Feeder* (Nagulmeera, 2013)

2.3 Klasifikasi Besi Cor

Cast iron atau besi cor seperti halnya baja, pada dasarnya adalah paduan besi-karbon, dengan kadar karbon yang lebih tinggi, biasanya antara 2,5 - 4 % C. Keuletannya rendah, tidak dapat ditempa di roll, di drawing, satu satunya cara pembuatannya adalah dengan penuangan. Secara umum besi cor dapat dikelompokkan berdasarkan keadaan dan bentuk karbon yang terkandung di dalamnya menjadi lima golongan adalah sebagai berikut :

- a. Besi tuang putih (*white cast iron*) dimana seluruh karbon berupa sementit.
- b. Besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*), dimana karbonnya berupa temper karbon, dengan matriks perlit dan ferrit.



c. Besi tuang kelabu (*grey cast iron*), dimana karbonnya berupa grafit berbentuk flake (serpih) dengan matriks ferrit dan perlit.

d. Besi tuang nodular (*nodular cast iron*), dimana karbonnya berupa nodular graphite berbentuk bola dengan matriks ferrit dan perlit.

e. Besi tuang paduan, dimana karbonnya berikatan dengan unsur paduan membentuk karbida. (Avner, 1987)

Besi cor merupakan paduan besi, yang membeku secara eutektik. Besi cor memiliki kadar karbon dan silikon yang lebih tinggi daripada baja. Karena tingginya kadar karbon, struktur besi cor berbeda dengan baja, yaitu adanya fase dari karbon. Tergantung dari komposisi, laju pendinginan, dan *melt treatment*, besi cor dapat membeku berdasarkan system metastabil Fe-Fe₃C secara termodinamika atau sistem Fe-Gr yang stabil. Ketika pembekuan terjadi dengan cara metastabil, fasa yang kaya karbon dalam eutektik adalah karbida besi, sedangkan ketika pembekuan terjadi secara stabil, fasa yang kaya karbon adalah grafit. Mengacu kepada sistem binary Fe-Fe₃C atau sistem Fe-Gr, besi cor dapat didefinisikan sebagai paduan besi-karbon dengan lebih dari 2%C. Silikon dan elemen paduan lainnya diduga merubah kelarutan maksimum dari karbon dalam fasa austenite (γ). Sedangkan, dalam kasus pengecualian, paduan kurang dari 2%C dapat terlarut dengan struktur eutektik dan meskipun begitu masih tetap tergolong dalam kelompok besi cor. Dua faktor utama mendeterminasikan potensi grafitisasi dari sebuah besi. Potensi grafitisasi besi yang tinggi menghasilkan besi dengan grafit sebagai fasa yang kaya karbon, sementara potensi grafitisasi yang rendah akan menghasilkan besi dengan karbida besi didalamnya.

Dua tipe dasar dari eutektik, austenite stabil-grafit atau metastabil austenite-besi karbida (Fe₃C), memiliki perbedaan yang luas pada sifat mekaniknya seperti kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan ductility. Meski begitu, cakupan dasar dari proses metalurgi dari besi tuang adalah untuk memanipulasi tipe,

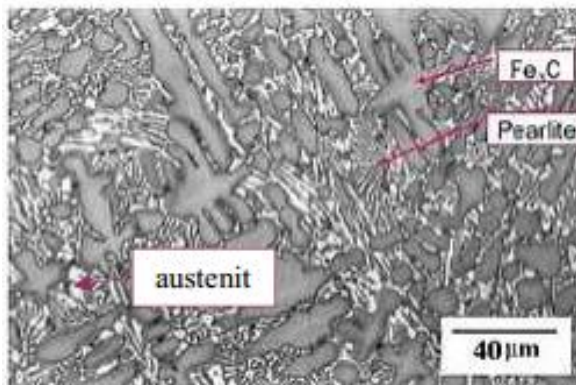


jumlah, dan morfologi dari eutektik untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan. (ASM vol. 1,1991)

2.4 Besi Cor Putih

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon lebih dari 2%, silisium (1%- 3%), fosfor dan belerang (Sordia, 1976). Sifat mekanik pada besi cor sangat dipengaruhi oleh tingginya kadar karbon dalam material tersebut. Ada dua faktor utama yang mengontrol sifat ini: (a) tipe, ukuran, jumlah dan distribusi ukuran dari nodul grafit dan (b) tipe dari matrik (Carazo et al., 2013).

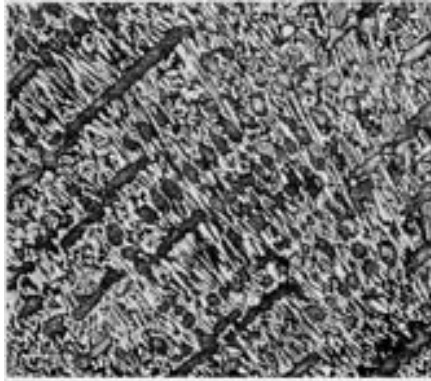
Sehingga pada umumnya struktur akhir dari besi cor putih dengan paduan krom(setelah memperoleh perlakuan panas) adalah martensit dan kromium karbida. Pada saat penuangan logam cair dari material besi cor putih dan kemudian membeku maka karbon akan bercampur dengan besi membentuk karbida sementit seperti pada Gambar 2.3 yang menyebabkan besi cor putih menjadi keras, tahan panas dan aus tetapi sangat rapuh dan sukar dikerjakan dengan mesin (Subardi dkk, 2011).



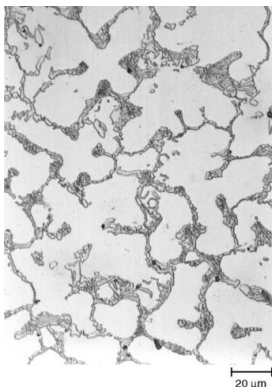
Gambar 2.3 Struktur mikro besi cor putih sebelum diberikan perlakuan panas dengan penampakan Fe₃C, perlit dan austenit (Amanda, 2015).



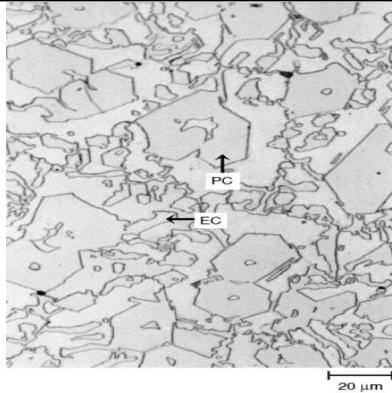
Adapun berbagai macam bentuk struktur mikro dari besi cor putih seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4-2.7



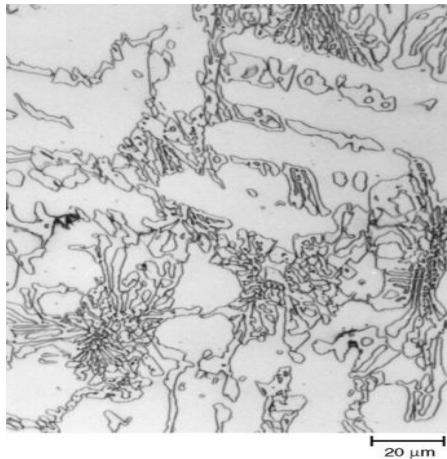
Gambar 2.4 Struktur mikro besi cor putih kromium tinggi. *Interdendritic network* karbida besi-krom (putih) dan dendritic martensite (abu-abu). 3% nital. 100x (ASM vol.9, 1991)



Gambar 2.5 Besi cor putih kromium tinggi. Karbida krom eutektik tipe M_7C_3 . Etsa glyceresia. 500x (ASM vol.9, 1991)



Gambar 2.6 Besi cor putih kromium tinggi. PC, *primary carbides*; EC, *eutectic carbides*, keduanya tipe M_7C_3 . Etsa glyceresia. 500x (ASM vol.9, 1991)



Gambar 2.7 Besi cor putih krom tinggi. Karbida eutektik dalam matriks austenit. Etsa glyceresia. 500x (ASM vol.9, 1991)

2.5 Pengaruh Unsur Paduan Kromium

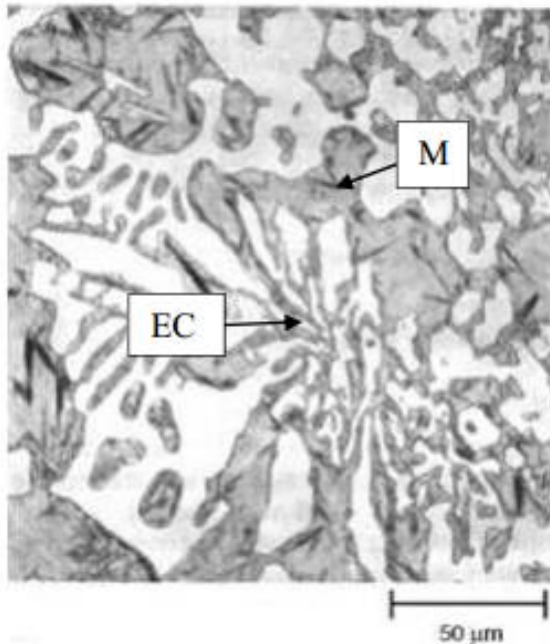
Kromium memiliki tiga fungsi utama dalam besi cor, yaitu untuk meningkatkan nilai kekerasan melalui pembentukan



karbida, untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sebagai penstabiliser struktur besi/baja untuk aplikasi pada lingkungan temperatur tinggi. Selain itu penambahan unsur kromium dalam material besi/baja memberikan pengaruh terhadap peningkatan kemampuan suatu material untuk membentuk fase martensit, kekuatan tarik, ketangguhan dan ketahanan abrasi (Gupta, 2002). Nilai ketahanan abrasi yang tinggi akibat pengaruh unsur kromium ini sangat baik terutama dalam penggunaannya sebagai material bola gerus dalam mesin penggilingan bola (Matsubara et al., 2001).

Kromium dapat membantu meningkatkan kekerasan juga berkontribusi untuk menurunkan temperatur (A4) dan kenaikan temperatur (A3). Penambahan unsur kromium juga berpengaruh terhadap meningkatnya pertumbuhan butir. Oleh karena itu dibutuhkan ketelitian selama proses perlakuan panas dan menghindari pemanasan meningkat (Nasir, 2015).

Peningkatan fraksi volume karbida dapat diperoleh dengan meningkatkan kandungan karbon atau kromium, hal tersebut dapat memperbaiki ketahanan aus tetapi menurunkan ketangguhan. Struktur yang terbentuk pada besi cor putih paduan kromium tinggi seperti pada Gambar 2.8 dan sebaliknya, penurunan fraksi volume karbida dapat meningkatkan jumlah matrik metalik dalam memperbaiki ketangguhan tetapi mengurangi ketahanan aus. Metode lainnya untuk memperbaiki ketahanan aus tanpa mempengaruhi ketangguhan adalah dengan meningkatkan kekerasan dari karbida eutektik melalui penambahan unsur pembentuk karbida lainnya pada saat proses peleburan (Jacuinde et al., 2015).



Gambar 2.8 Struktur mikro besi cor putih paduan kromium tinggi dengan struktur karbida eutektik (EC), martensit (M) (ASM, 1991).

2.6 Diagram Fasa

2.6.1 Fe – Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram fase besi-besi karbida merupakan diagram yang cukup kompleks, tetapi penggunaannya dalam dunia teknik hanya

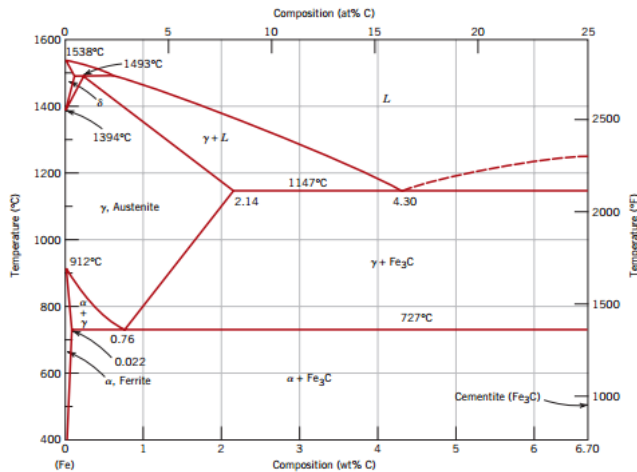


digunakan sampai unsur karbon sebesar 6,67%. Dan juga bagian bagian seperti besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya dan karbida besi Fe_3C .

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon berupa karbon bebas (grafit), sehingga diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.9.

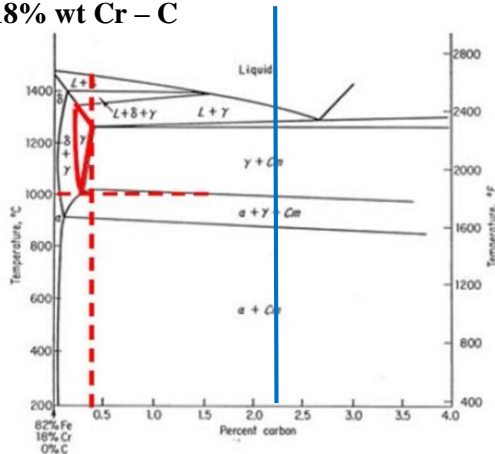
Dari Gambar 2.9 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C , kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $\text{L} + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C , kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. Liquid berubah menjadi austenit dan sementit.
- Pada 723°C , kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. Austenit berubah menjadi alpha ferit dan sementit.



Gambar 2.9 Diagram Fasa Fe – Fe₃C (Callister, 1997)

2.6.2 Fe – 18% wt Cr – C



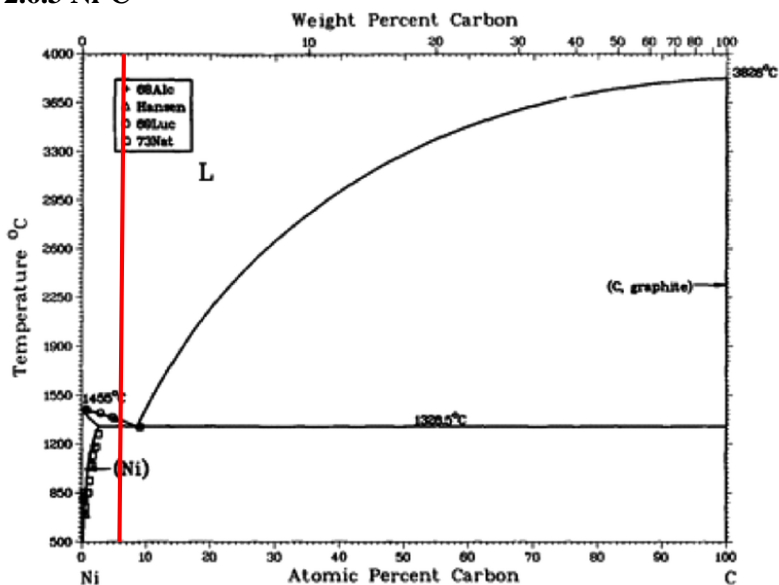
Gambar 2.10 Diagram Fasa Fe – 18% wt Cr – C (Callister, 1997)

Dari Gambar 2.10 diagram Fe – 18% wt Cr – C yang tertera diatas, sebelah kanan dari garis putus-putus berwarna merah sudah dapat dikategorikan sebagai besi tuang (*cast iron*). Oleh sebab itu,



dari hasil uji komposisi didapatkan bahwa kadar C pada bagian pelapis Bisclad 600 sebesar 2,29% maka sudah dapat dikategorikan sebagai *cast iron*. Ini disebabkan karena tingginya paduan chromium sebesar 12,72% pada material yang mampu menggeser titik eutektoid kearah kiri atas sehingga cast iron bisa didapatkan dengan unsur carbon yang lebih sedikit. Garis berwarna biru merupakan daerah yang memiliki fasa eutektoid (α + sementit) + eutektik (γ + sementit) + karbida.

2.6.3 Ni-C

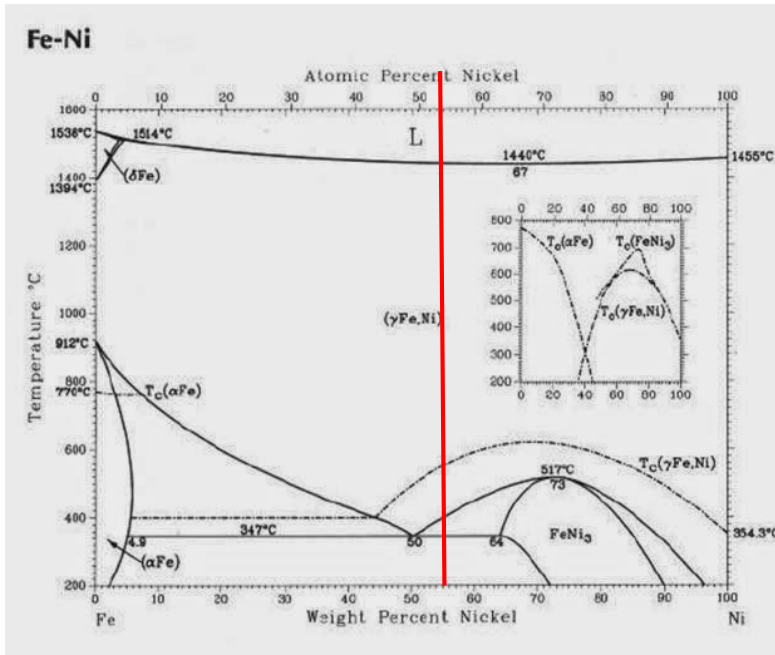


Gambar 2.11 Diagram Fasa Ni-C(Callister, 1997)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, garis berwarna merah merupakan posisi komposisi kimia 95% nikel. Pada temperatur kamar terdapat fasa γ Ni + eutektik (γ Ni + C)



2.6.4 Fe-Ni

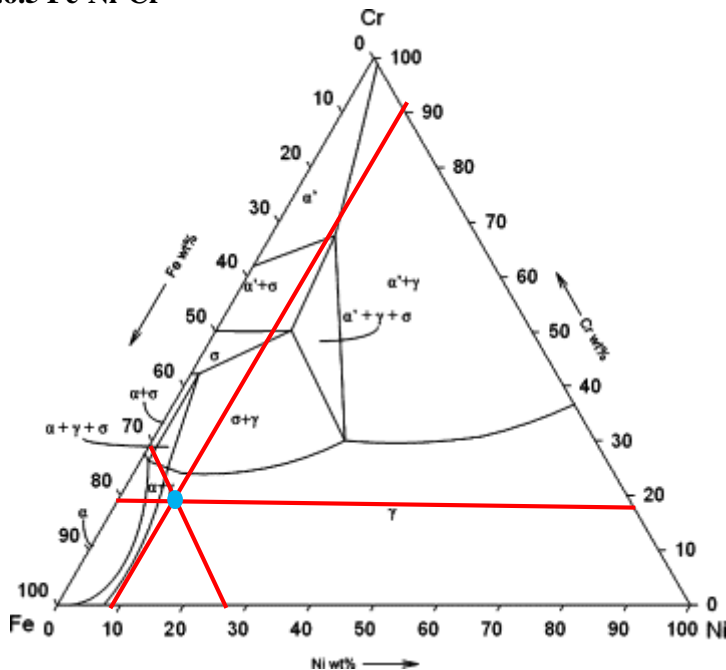


Gambar 2.12 Diagram Fasa Fe-Ni(Callister, 1997)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, garis berwarna merah merupakan posisi komposisi kimia 55% Ni dan 45% Fe. Pada temperatur kamar terdapat fasa αFe + eutektoid (αFe + FeNi_3). FeNi_3 merupakan fasa intermetalik, dengan adanya fasa tersebut menyebabkan kekerasan bertambah.



2.6.5 Fe-Ni-Cr



Gambar 2.13 Diagram Fasa Fe-Cr-Ni(Callister, 1997)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, garis berwarna merah dengan titik berwarna biru merupakan daerah komposisi 72%Fe-9%Ni-18Cr. Pada temperatur kamar terdapat fasa γ (austenit).

2.5 Kekerasan

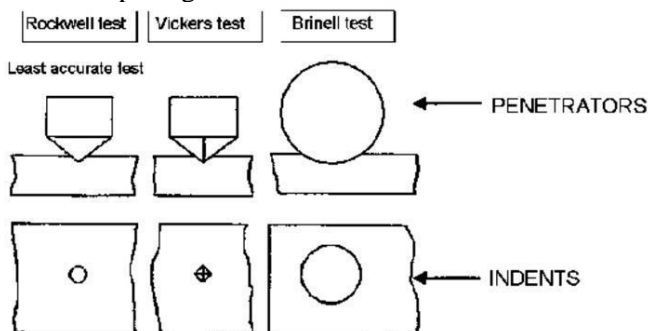
Salah satu sifat mekanik yang penting untuk diperhatikan pada setiap material adalah kekerasan (*hardness*). Kekerasan adalah kemampuan material untuk menahan goresan, indentasi, dan abrasi tanpa terjadi deformasi apapun. Pada awalnya pengujian kekerasan adalah berdasarkan material penyusun dengan skala yang dibuat untuk menguji kekuatan material untuk merusak material lain yang lebih lunak. Awalnya dibuatlah pengukuran



secara kualitatif dengan menggunakan skala Mosh, yang diatur antara 1 dari yang paling lunak menuju ke 10 yang paling keras. Pengukuran secara kualitatif tersebut telah dikembangkan selama bertahun-tahun dengan menggunakan indenter kecil yang ditekan pada permukaan material yang diuji, dengan kondisi beban yang telah diatur. Ukuran kedalaman dari hasil indentasi tadi merupakan *hardness number*. Semakin lunak suatu material, titik indentasinya makin besar dan dalam, maka nilai kekerasannya akan kecil. Uji kekerasan dilakukan lebih sering daripada uji mekanik yang lain karena:

1. Sempel dan tidak mahal – biasanya tidak membutuhkan spesimen spesial yang harus dipreparasi, dan biaya tesnya sangat murah
2. Pengujian tidak merusak – spesimen uji tidak akan patah ataupun terdeformasi
3. Sifat mekanik lain mungkin butuh data kekerasan, seperti contohnya uji tarik

Beberapa jenis skala digunakan dari kombinasi indenter yang digunakan dan beban yang diberikan pada material. Perbedaan indenter menjadi alasan mengapa metode pencarian nilai kekerasan dapat dilakukan dengan beberapa metode. Berikut merupakan perbandingan ketiga indenter pada metode yang telah disebutkan diatas pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Penggunaan indenter pada masing-masing pengujian kekerasan (Dieter, 1988)



Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa indenter yang digunakan pada *rockwell test* berupa kerucut intan, sementara *brinell test* menggunakan indenter berupa bola baja, dan *vickers test* berupa intan yang cukup kecil dan mempunyai geometri seperti piramid.

1. Brinell

Uji kekerasan brinell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk bahan lunak, beban dikurangi hingga 500 kg agar tidak terjadi jejak yang terlalu dalam. Sementara untuk bahan yang keras, menggunkan karbida tungsten untuk memperkecil perhitungan uji kekerasan brinell.

2. Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter yang berupa piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola.

3. Rockwell

Uji kekerasan rockwell menggunakan kedalaman indentasi pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan serta memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan ke atas. (Callister, 2013)

2.6 Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua bahan dengan jenis dasar yang sama melalui pembentukan ikatan kimia primer dan sekunder di dasarkan pada gabungan panas dan tekanan. (Messler, 1999)



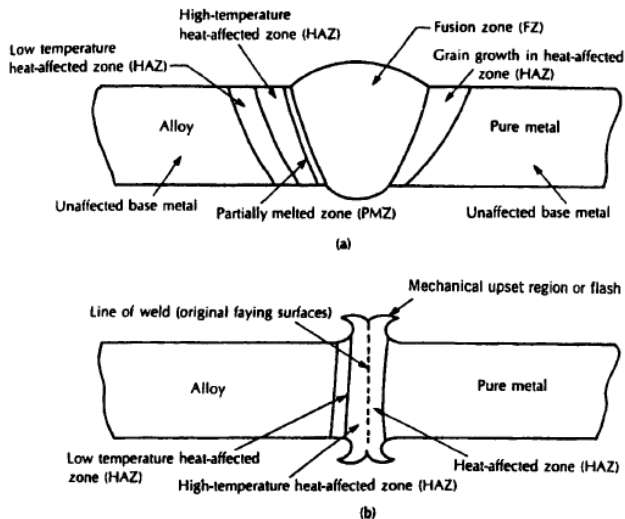
Menurut Ibrahim Khan pada tahun 2007, pengelasan adalah proses penyambungan secara permanen dua material melalui peleburan lokal yang didasarkan pada perpaduan temperatur, tekanan dan kondisi metalurgi dari bahan.

Sedangkan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam maupun logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, pengelasan adalah penyambungan setempat dari logam dengan menggunakan energi panas, dengan atau tanpa tekanan, atau hanya tekanan, dengan atau tanpa menggunakan kawat las.

Pengelasan bimetal adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan bimetal mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda yang sesuai, dan arus yang sesuai.

Dengan adanya energi panas, maka pada lokasi penyambungan, logam akan melebur, menyebabkan adanya interaksi dengan logam lain. Pada pengelasan tahanan listrik, penyambungan dilakukan dengan memadukan antara energi panas dan tekanan yang dibangkitkan oleh tahanan listrik.

Proses pelelehan logam pada daerah lasan dan elektrode dengan sistem pendinginannya menyebabkan adanya proses perlakuan panas yang berakibat pada perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan. Pada sambungan las, dapat dibedakan menjadi tiga daerah, yakni daerah lebur (*fusion zone*), daerah yang terpengaruh panas (*heat affected zone*=HAZ), dan daerah yang tidak terpengaruh panas pada logam asli (*unaffected zone*). (Suwarno, 2000)



Gambar 2.15 Area struktural yang terbentuk pada (a) *fusion welding* dan (b) *nonfusion welding* antara logam murni (kanan) dengan paduan (kiri) (Messler, 1999)

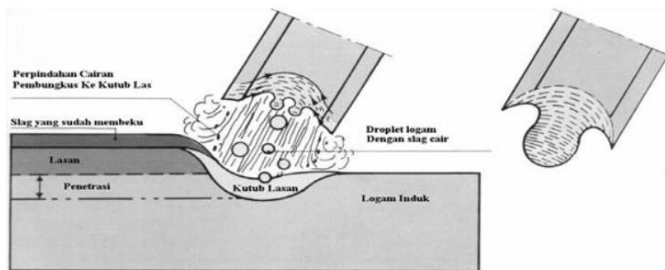
2.7 Pengelasan SMAW

Las busur listrik elektroda terbungkus (SMAW) adalah salah satu metode pengelasan yang sangat populer untuk penyambungan baja struktural dan sistem pengelasannya cukup sederhana. Kelebihan SMAW terdapat pada elektroda yang terbungkus fluks (Shielding) yang bertujuan untuk menghindari pengaruh buruk dari udara sekitar terhadap kualitas manik las seperti debu, minyak, dan air. Pengaruh luar tersebut membuat hasil las menjadi getas (brittle), keropos (porous) dan mudah berkarat (corrosive). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau Direct Current (DC),



mesin las arus bolak balik atau Alternating Current (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negative dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. (Abdul, 2016)



Gambar 2.16 Prinsip kerja perpindahan logam pada proses SMAW (Abdul, 2016)

2.8 Parameter Pengelasan

Parameter pada proses pengelasan suatu material merupakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil las. Tidak hanya elektroda yang akan mempengaruhi pengelasan pada material. Namun, beberapa parameter pengelasan juga akan mempengaruhi kualitas hasil lasan seperti tegangan, arus, dan kecepatan pengelasan, yang akan membuat suatu hubungan yang menghasilkan energi pengelasan, yakni *heat input* (HI) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:



$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

H = *Heat Input* (HI) (kJ/mm)

E = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

η = Efisiensi pengelasan

Besar *heat input* mempengaruhi lebar HAZ yang dapat diketahui secara teoritis dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4.13 \rho C t Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_o} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

C = Panas spesifik dari logam padat (J/g°C)

ρ = Massa jenis dari material (g/mm³)

t = Tebal dari *sheet* atau *plate* (mm)

T_o = Temperatur mula-mula dari *sheet* atau *plate* (°C)

T_m = Temperatur lebur (°C) (khususnya temperatur liquid yang akan dilas)

T_p = *Peak temperature* (°C) pada jarak (mm) dari batas sambungan las.

Persamaan *peak temperature* ini tidak dapat digunakan pada titik-titik di dalam *weld metal*, hanya daerah *HAZ* saja. Pengaruh dari parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Tegangan

Tegangan busur las; panjang busur (*Arc Length*) yang dianggap baik lebih kurang sama dengan dia, elektroda yang dipakai. Untuk besarnya tegangan yang dipakai setiap posisi pengelasan tidak sama. Misalnya diameter elektroda 3-6 mm, mempunyai tegangan 20-30 volt pada posisi datar, dan tegangan



ini akan dikurangi antara 2-5 volt pada posisi di atas kepala. Kestabilan tegangan ini sangat menentukan mutu pengelasan dan kestabilan juga dapat didengar melalui suara selama pengelasan. (Tarkono, 2012)

b. Arus

Arus las berpengaruh pada proses pelelehan dan penyambungan logam. Semakin besar arus yang diberikan maka akan semakin cepat proses pelelehan dan penyambungan yang terjadi. Akan tetapi hal ini dapat mengakibatkan semakin besarnya *Heat Affected Zone* (HAZ), persentase sambungan las dan perubahan struktur mikripada daerah sambungan. Sebaliknya bila arus kecil maka proses pelelehan dan penyambungan tidak dapat terjadi.

c. *Travel Speed*

Kecepatan pengelasan didefinisikan sebagai laju perjalanan elektroda sepanjang sambungan. Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan, dan lain sebagainya. Kecepatan pengelasan tidak memiliki hubungan dengan tegangan, namun berbanding lurus dengan arus yang digunakan pada proses pengelasan. Karena itu, pengelasan yang cepat memerlukan arus yang tinggi. (Wiryosumarto, 2000)

Dengan masukan panas (*heat input*) dari suatu pengelasan semakin tinggi, maka temperatur puncak yang diperoleh akan semakin tinggi. Pada daerah HAZ semakin tinggi masukan panas maka daerah HAZ akan semakin lebar dan akan tumbuh kristal dengan cepat yang membentuk butir yang besar dikarenakan laju pendinginan yang lambat. Struktur butiran yang besar akan mempengaruhi kekuatan hasil lasan menjadi lebih rendah.

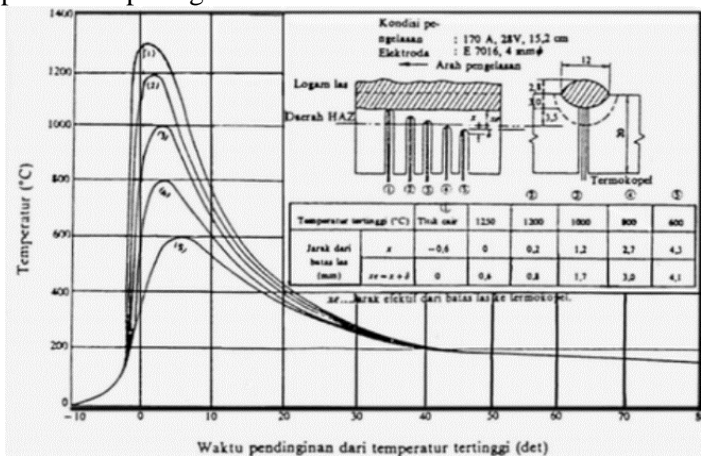
Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi



maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi. (Santoso, 2006)

2.9 Siklus Termal

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam proses pengelasan sangat mempengaruhi hasil akhir dari pengelasan tersebut. Fenomena siklus termal pada pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.16



Gambar 2.17 Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las (Messler, 2004)



2.10 Preheat

Salah satu pertimbangan terpenting pada pengelasan *cast iron* adalah penggunaan *preheat*. *Preheat* menjadikan kondisi logam lebih siap untuk menerima proses pengelasan. Temperatur minimum *preheat* bertujuan untuk menghindari adanya *crack* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya nya; Karbon ekivalen, kondisi *base metal*, ketebalan *base metal*, dan risiko keberadaan hidrogen. (Sharma, Saluja, & Moeed, 2013) . *Preheat* digunakan untuk mengontrol mikrostruktur pada area lasan. *Preheating* dapat memperlambat laju pendinginan. Laju pendinginan yang lambat juga dapat membantu meminimalkan *residual stresses*. (ASM vol 6,1993)

Preheat juga dilakukan untuk :

- Mencegah *crack* yang disebabkan oleh gradien temperatur dan *thermal stress*
- Mereduksi tegangan sisa pada *casting*
- Mereduksi distorsi
- Mereduksi kekerasan di HAZ
- Mereduksi gradien temperatur pada *dissimilar welding*
- Mereduksi kontaminasi *hydrocarbon*

Temperatur *preheat base metal* harus dikendalikan dengan hati- hati. Beberapa metode pemanasan terbaik untuk melakukan ini adalah menggunakan peralatan berupa: pemanas tungku, koil induksi listrik, dan wol dengan bahan *glasswool*. Dengan metode ini indikator temperature terhubung ke bagian yang dipanaskan. Metode *preheat* lainnya adalah lainnya adalah menggunakan *torch*. Metode ini memberikan efek pemanasan yang lebih terlokalisasi daripada metode yang telah disebutkan sebelumnya. Namun, saat menggunakan metode ini, sangat perlu bagi pengelas untuk memperhatikan keadaan agar jangan sampai *overheating*. *Overheating* dapat menyebabkan pembentukan deposit sebagai akibat dari pembakaran pada permukaan yang tidak sempurna. Kapur berwarna dan pelet sering digunakan untuk mengukur temperature *preheat* karena dapat meleleh pada



temperatur tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Cara lain untuk mengukur temperatur adalah dengan menggunakan thermometer tembak. Ini dapat memberikan pembacaan meter, bacaan digital atau merekam pembacaan tergantung pada jenis indikator temperatur. (Hobart, 2012)

2.11 Post Weld Heat Treatment

Post Weld Heat Treatment (PWHT) dapat didefinisikan sebagai proses perlakuan panas yang dilakukan setelah pengelasan, umumnya digunakan untuk meningkatkan sifat dari hasil lasan. (Funderburk, 1998). Fungsi dari *Post Weld Heat Treatment* adalah untuk memperhalus martensit di bagian *weld metal* dan HAZ, yang bertujuan untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan ketangguhan, serta mengurangi *residual stress* yang terjadi selama proses pengelasan. Proses PWHT dapat dilakukan dengan berdasarkan pada paduan spesifik dan *filler* yang digunakan. Selain itu juga dimensi, *joint design*, dan parameter pengelasan juga berpengaruh. (Sharma, Saluja, & Moeed, 2013).

Post weld heat treatment umumnya menggunakan temperatur di bawah temperatur kritis (sebelum bertransformasi menjadi austenit). Temperatur yang digunakan bergantung dari jenis material yang digunakan. Dengan temperatur di bawah temperatur kritis tersebut menghasilkan struktur yang lebih halus sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *brittle failure*. (Al-Olabi, 1994).

Jika PWHT dilakukan pada temperatur yang sesuai dan waktu tahanan las baik, maka hasilnya akan baik. Namun, jika temperatur PWHT terlalu rendah, logam las akan menghasilkan ketangguhan yang kurang memadai karena efek *tempering* yang tidak mencukupi. (Taniguchi & Yamasaki, 2013)

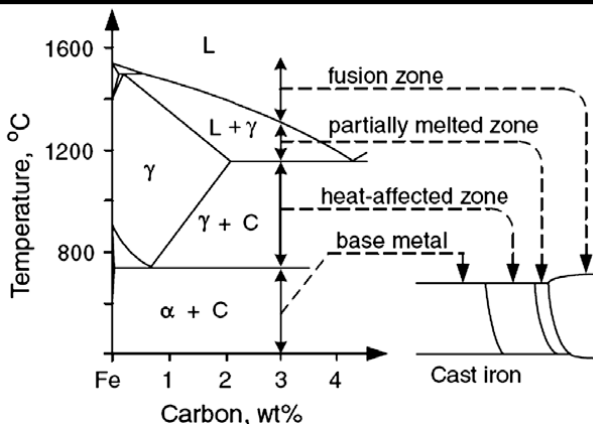


Tabel 2.1 Rekomendasi Post Weld Heat Treatment(ASM Vol.6)

<i>Heat Treatment</i>	<i>Temperatur</i>		<i>Holding Time (per workpiece thickness)</i>	<i>Cooling Rate</i>
	<i>°C</i>	<i>°F</i>		
<i>Stress Relief</i>	595-650	1100-1200	1H/IN	Pendinginan furnace hingga 350°C (600°F) pada 55°C/H (100°F/H), pendinginan udara hingga temperatur ruangan
<i>Ferritize Anneal</i>	705-760	1300-1400	1H/IN	
<i>Full Anneal</i>	790-900	1450-1650	1H/IN	
<i>Graphitizing Anneal</i>	900-955	1650-1750	1-3 H + 1H/IN	
<i>Normalizing Anneal</i>	870-955	1600-1750	1-3 H + 1H/IN	Pendinginan udara dari temperatur annealing hingga dibawah 480°C ke temperatur ruangan

2.12 Pengelasan *Cast iron*

White cast iron pada umumnya dianggap sulit untuk dilas karena memiliki kekerasan yang tinggi dan sering terjadi retak karena pendinginan cepat, tidak dapat tersambung karena pemilihan elektroda yang tidak tepat. Pada proses pengelasan dapat terbentuk empat daerah yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18



Gambar 2.18 Temperatur yang dialami oleh berbagai zona mikrostruktur pada besi tuang las

Heat Affected Zone (HAZ) adalah area yang terkena panas (tidak meleleh) tetapi mengalami perubahan struktur mikro. Sifat pada proses pengelasan diakibatkan dari pendinginan cepat apabila dibandingkan pada prosedur casting. Oleh karena itu, sifat hasil lasan dan juga daerah yang terkena panas (HAZ) akan berbeda dari casting nya (*base metal*). Selama pengelasan, carbon dapat berdifusi menjadi austenit. Ketika pendinginan terjadi, austenit bertransformasi menjadi martensit. Struktur martensit ini sangat getas dan rentan terhadap *crack*. Jumlah martensit yang terbentuk tergantung pada kimia atau tipe dari *cast iron* dan *thermal history* nya. Struktur martensit yang getas dapat diubah dengan cara tempering menggunakan *preheat* dan temperatur interpass, dengan pengelasan multi-pass atau dengan *postweld heat treatment*.

Fusion Zone adalah area yang dilelehkan selama proses pengelasan dan dikuatkan selama pendinginan. Sifat dan struktur mikro dari *fusion zone* (daerah fusi) diatur oleh lasan yang digunakan. Area ini terbentuk dari *filler* metal yang mencair dan beberapa dilusi dari iron casting. Karena turbulensi pada daerah las, deposit las relatif memiliki komposisi yang seragam. (ASM vol 6, 1993)



Partial Melted Zone (PMZ) adalah area di luar *Fusion Zone* yang sudah mencapai titik leburnya namun tidak sampai mencair. Daerah ini adalah area yang berdekatan dengan HAZ dimana panas pada daerah las cukup tinggi untuk menyebabkan setengah mencair, dan dekat *fusion line*. Ini adalah daerah paling kritis pada hasil las, karena pada pendinginan, area ini membeku sebagai *white iron* (ketika ditahan pada temperatur tinggi cukup lama karbon larut) akibat dari tingginya laju pendinginan. Daerah ini sangat kompleks dan banyak mengandung tipe mikrostruktur yang berbeda beda. Jika jumlah grafit yang larut selama pengelasan cukup tinggi dan membentuk cairan matrix yang berkelanjutan, maka ada kemungkinan jaringan karbida juga kan berkelanjutan, menyebabkan masalah. Karena daerah yang setengah mencair mengandung porsi yang besar dari hasil yang keras, maka daerah ini adalah daerah yang paling keras pada pengelasan. Tingginya kekerasan dan rendahnya ketangguhan menyebabkan daerah ini bertanggung jawab atas masalah mekanik pada pengelasan *cast iron*. Cara paling efektif untuk mereduksi masalah *crack* adalah dengan mereduksi peak temperatur dan menjaga penurunan pendinginan. Hal ini dapat dikontrol oleh *heat input*, *preheat*, *interpass temperature*, pemilihan *filler* metal yang baik. Penggunaan titik leleh *filler* metal yang rendah akan membantu mereduksi peak temperatur pada daerah yang mengalami sebagian pencairan ulang. Namun, jika lasan cukup kecil dan heat input yang digunakan tinggi, temperatur dari *base metal* cukup meningkatkan untuk menyebabkan masalah *fusion line* meskipun tanpa *preheat*. Disamping itu, temperatur *preheat* yang tinggi digunakan untuk mencegah terbentuknya martensit pada daerah HAZ dan mereduksi tegangan, *crack* pada *fusion line* dapat terjadi meskipun heat input rendah. Sebuah prosedur pengelasan dapat menghandle PMZ dan HAZ yang memungkinkan akan menghasilkan lasan yang baik.

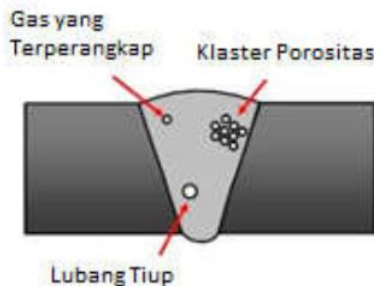


2.13 Cacat Las

Pada hasil pengelasan ada beberapa kemungkinan cacat las yang terjadi, tentunya hal ini merupakan yang tidak diinginkan karena dapat menurunkan kualitas hasil lasan. Setiap cacat las memiliki penyebab yang berbeda-beda, terutama pada saat menentukan parameter las. Berikut macam-macam cacat las:

1. Porositas

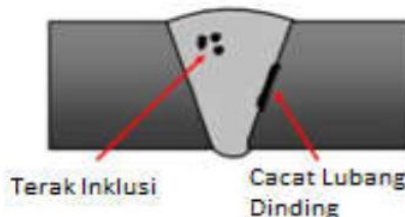
Cacat ini merupakan cacat yang disebabkan adanya gas yang terperangkap di daerah lasan.



Gambar 2.19 Cacat Porositas (Sahlan,2015)

2. *Slag Inclusion*

Slag Inclusion adalah partikel kontaminan yang terperangkap dalam *weld metal*. Hal ini dapat terjadi karena akibat pembersihan pada permukaan yang kurang bersih dan juga *flux* yang masuk ke *weld metal*.



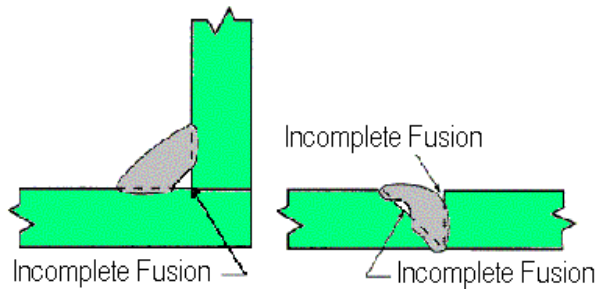
Gambar 2.20 Cacat *Slag Inclusion* (Sahlan,2015)



3. *Incomplete Fusion*

Incomplete Fusion adalah hasil lasan yang tidak tersambung dengan sempurna. Cacat ini dapat disebabkan oleh kesalahan penggunaan besar arus, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pemilihan elektroda yang tidak tepat, maupun kesalahan pengelas. Cara mengatasinya adalah sebagai berikut:

- Memperbaiki posisi pengelasan
- Penggunaan arus harus sesuai dengan prosedur
- Pemilihan elektroda yang sesuai
- Kecepatan pengelasan harus sesuai prosedur

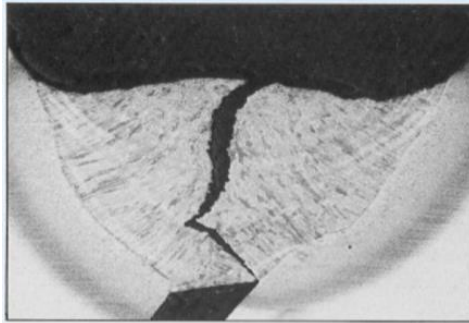


Gambar 2.21 Cacat Las *Incomplete Fusion* (Sahlan,2015)

4. *Cold Cracking*

Area las retak pada saat temperatur sudah dingin. Cacat las ini disebabkan pendinginan yang terlalu cepat, arus yang digunakan terlalu rendah, kecepatan las terlalu tinggi, tidak adanya preheat. Cara megatasinya dengan :

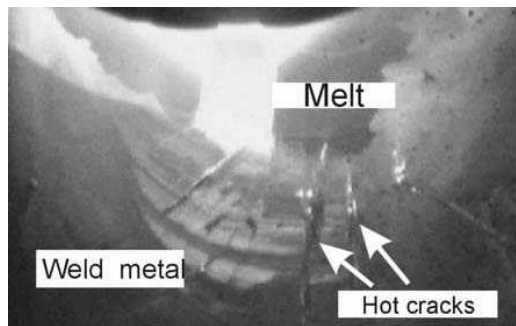
- Hindari pendinginan yang terlalu cepat
- Sesuaikan arus dengan prosedur
- Sesuaikan kecepatan las dengan prosedur
- Melakukan *pre heat*



Gambar 2.22 Cacat Las *Cold Cracking* (Sahlan,2015)

5. *Hot Cracking* (Retak Panas)

Hot Cracking yaitu retakan yang biasanya timbul pada saat cairan las mulai membeku karena luas penampang yang terlalu kecil dibandingkan dengan besar benda kerja yang akan dilas, sehingga terjadi pendinginan. Cara mengatasi dengan menggunakan elektroda las low hidrogen yang mempunyai sifat tegang yang relatif tinggi. (Sahlan,2015)



Gambar 2.23 Cacat Las *Hot Cracking* (Sahlan,2015)

2.14 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini dan terlebih dahulu dilakukan dapat dijadikan sebagai refrensi, diantaranya yaitu



- Pengelasan dengan metode SMAW pada material *grey cast iron* untuk mengetahui ketahanan aus dan perilaku korosi menggunakan *preheat* 300-400°C selama 15 menit dengan elektroda Ni (DIN8563), Baja Karbon (DIN1913) dan *Hardening* electrode (DIN8555). Parameter yang digunakan untuk pengelasan ini seperti pada tabel 2.2 di bawah. Hasil yang didapatkan adalah dengan menggunakan elektroda Ni, pembentukan martensit dapat dicegah, kemungkinan dari pembentukan *crack* dapat direduksi. Ketahanan aus pada *cast iron* meningkat dengan menggunakan ketiga elektroda tersebut. Serta ketahanan korosi dari Ni dan *hardening electrode* didapatkan lebih tinggi. (Alireza Sadeghi,2016)

Tabel 2.2 Parameter dan Prosedur pengelasan besi cor dengan SMAW

Procedure	Abbreviation of tests	Welding parameters			
		Current (A)	Electrode diameter (mm)	Travel speed (mm.min ⁻¹)	Polarity
Base metal	C	-	-	-	-
Welding by Ni electrode	CNi	70	2.5	100	DCEP
Welding by E7018 electrode	C7018	70	2.5	100	DCEP
First welding by Ni and after that welding by E7018 electrode	CNi7018	70	2.5	100	DCEP
First welding by Ni and after that welding by ENI4700 electrode	CNiHF	70	3	100	DCEP

- Proses reparasi *cylinder head* dengan material *grey cast iron* matriks perlitik menggunakan metode SMAW dengan elektroda DFC Fe, ENi-Cu-7, ENiFe-CI dan reparasi menggunakan thermal spray powder. Dari studi ini didapatkan hasil diantaranya yaitu pada pengelasan menggunakan elektroda carbon steel (DFCFE) with *preheat* 100°C, struktur mikro yang didapat yaitu pada weld metal terdapat karbida dan martensit, pada PMZ mengandung beberapa karbida, dan daerah HAZ mengandung martensit. Nilai kekerasan karbida di PMZ



sangat tinggi dibandingkan dengan *base metal*. Kemudian pengelasan menggunakan elektroda Ni-Cu-7 di *preheat* 100°C, didapatkan hasil mikrostruktur yaitu pada weld metal menunjukkan struktur dendritik dari struktur austenit paduan tembaga-Nikel. Struktur mikro pada HAZ menunjukkan beberapa martensit dan jaringan batas butir yang terkoneksi dengan grafit flake. Sedangkan hasil nilai distribusi kekerasan di PMZ sangat tinggi jika dibandingkan dengan *base metal*. Selanjutnya pengelasan menggunakan ENiFe-CI dengan *preheat* 100°C, hasil mikrostruktur yang didapatkan pada PMZ menunjukkan adanya karbida yang diskontinus, pada HAZ terdapat martensit dan pada weld metal menunjukan struktur dendritik dari paduan Besi-Nikel. Hasil nilai distribusi kekerasan yang didapatkan yaitu pada daerah PMZ dan HAZ nilai kekerasannya meningkat. Kemudian dengan elektroda yang sama, dilakukan pengelasan dengan *preheat* 400°C, kemudian hasil yang didapatkan dibandingkan dengan pengelasan dengan *preheat* 100°C. Struktur mikro yang didapat yaitu pada daerah PMZ terdapat karbida yang kontinu, sedangkan pada HAZ menunjukkan lebih sedikit martensit. Hasil distribusi kekerasan yang didapat, pada daerah PMZ dan HAZ lebih rendah jika dibandingkan dengan pengelasan dengan *preheat* 100°C. (M.A. Morsy, 2011)

Tabel 2.3 Parameter Las dengan Elektroda yang berbeda

Electrodes	Voltage, V	Current, A	Electrode size, mm	Preheating Temperature, °C	Polarity
AWS A5.15 E NiFe-CI	24	100	3.2	100 and 400	DCEP
JIS Z3252 DFC Fe	24	100	3.2	100	DCEP
AWS A5.11 E NiCu-7	24	100	3.2	100	DCEP

- Pengelasan pada nodular *cast iron* grade FCD500 dengan metode SMAW menggunakan *filler* ENiFe-CI dan E7016. Terdapat dua spesimen pada penelitian ini, dimana



spesimen pertama dilakukan pengelasan dengan *filler* ENiFe-CI dan dilakukan pengelasan multilayer. Kemudian spesimen kedua menggunakan ENiFe-CI untuk mengisi (*buttering*) *groove* dilakukan dengan multilayer, lalu pada layer berikutnya digunakan elektroda E7016. Parameter pengelasan yang digunakan antara lain, arus pengelasan pada ENiFe-CI 60A-90A, pada E7016 yaitu 90A-130A, tegangan yang digunakan untuk ENiFe-CI dan E7016 yaitu 22-25V dan 20-28V, *travel speed* yang digunakan pada ENiFe-CI yaitu 80-120mm/min, pada E7016 yaitu 120-150 mm/min. Pengelasan ini menggunakan *preheat* 300°C, interpass temperatur maksimal 350°C dan menggunakan PWHT pada 650°C selama 2 jam. Hasil yang didapat yaitu nilai kekerasan pada daerah batas fusion mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan weldmetal, selanjutnya pada daerah HAZ kekerasannya menurun jika dibandingkan dengan daerah batas. (Petchsang S,2012)

- Pengelasan pada baja tahan karat ferritik menggunakan SMAW dengan variasi arus 60,70,80,90 A dan variasi elektroda E308L dan elektroda E316L. Pengamatan secara makro pada hasil pengelasan selain digunakan untuk mengetahui bentuk dan lebar daerah HAZ, juga dapat digunakan untuk mengamati kedalaman penetrasi lasan. Bentuk dan lebar HAZ pada dasarnya dipengaruhi oleh heat input dan kecepatan pengelasan. Dari 8 spesimen didapatkan lebar HAZ yang berbeda. Spesimen dengan parameter pengelasan arus 90A menghasilkan lebar HAZ yang paling besar yaitu 3 mm. Sedangkan spesimen dengan parameter pengelasan arus 60A menghasilkan lebar HAZ yang paling kecil yaitu 1,9 mm. Penggunaan heat input yang tepat sangat penting pada pengelasan baja tahan karat ferritik. Apabila heat input tinggi menyebabkan laju pendinginan (*solidifikasi*) yang lambat. Ini menyebabkan lebar HAZ yang semakin besar. Struktur

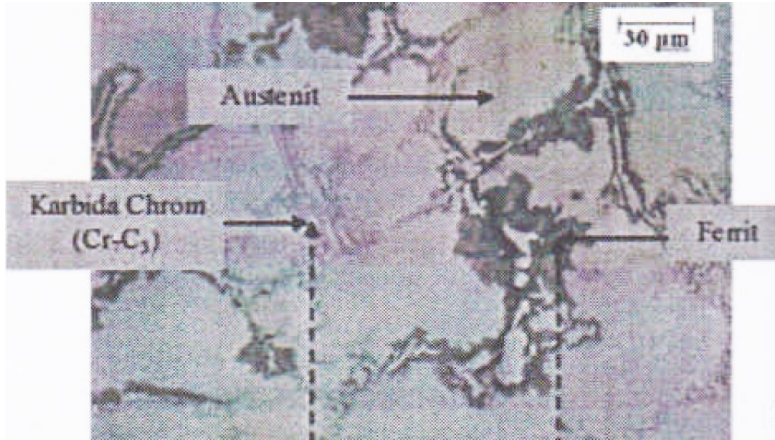


mikro pada weld metal didominasi oleh struktur ferit pada seluruh variasi las. Penggunaan elektroda tipe E316L menyebabkan jumlah ferit yang lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan elektroda E308L. Pada pengelasan dengan variasi elektroda E316L terdapat jumlah ferit yang lebih banyak dibandingkan daerah HAZ pada pengelasan dengan variasi elektroda E308L. Ini karena elektroda E316L mengandung unsur Molybdenum yang merupakan penstabil ferit serta pelarut karbida. Pengukuran nilai kekerasan dilakukan pada base metal, HAZ dan weld metal. Hasil pengujian kekerasan yang dibandingkan adalah logam lasan yang sama namun berbeda arus dan elektroda. Tingginya nilai kekerasan di HAZ bila dibandingkan dengan weld metal dan base metal karena di HAZ terdapat matriks Fe-Cr yang lebih banyak. Semakin tinggi arus yang digunakan, maka matriks Fe-Cr semakin banyak dan ini berpengaruh terhadap nilai kekerasan tersebut. Berdasarkan data dari hasil penelitian didapatkan Nilai kekerasan yang tinggi untuk penggunaan elektroda E308L dengan arus 90A yaitu sebesar 107 HRB. Sedangkan penggunaan elektroda E316L dengan arus 80A yaitu 99 HRB. Nilai kekerasan terendah pada penggunaan elektroda E308L dengan arus 60A yaitu 82 HRB. Sedangkan penggunaan elektroda E316L dengan arus 60A yaitu 88 HRB. (Putra, 2011)

- Harga kekerasan material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 type II-A), dimana pada kondisi *as-cast* harga kekerasan adalah 410 BHN. Struktur yang terbentuk pada material *as-cast* berupa matriks austenit, ferit, dan karbida krom sepanjang batas butir austenit seperti pada gambar. Tingginya nilai kekerasan material ASTM A532 type II-A pada kondisi *as-cast* ini diakibatkan oleh adanya struktur karbida krom. Dalam referensi, harga kekerasan karbida krom adalah berkisar 1365-1620 BHN, dimana kekerasan lebih tinggi



dibandingkan dengan karbida sementit (Fe_3C) yaitu 925-1100 BHN pada besi tuang putih tanpa paduan. (Achmad, 2013)



Gambar 2.23 Struktur mikro sampel material besi tuang putih krom tinggi dengan mikroskop optik pada kondisi *as-cast* (Achmad, 2013)

- Penelitian terkait variasi penentuan filler metal dan pemberian PWHT pada proses *repair* untuk bagian *hard facing* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik besi tuang kelabu FC250 dengan metode TIG memberikan hasil berupa pemberian waktu tahan pada 650°C selama 1,5 jam memberikan hasil berupa adanya perubahan struktur mikro pada daerah HAZ, dimana martensit mengalami proses tempering. Peningkatan kekerasan juga terjadi dengan penentuan variasi filler berupa NiFe-1, 308L, Ni-CI. (Meilati, 2017)

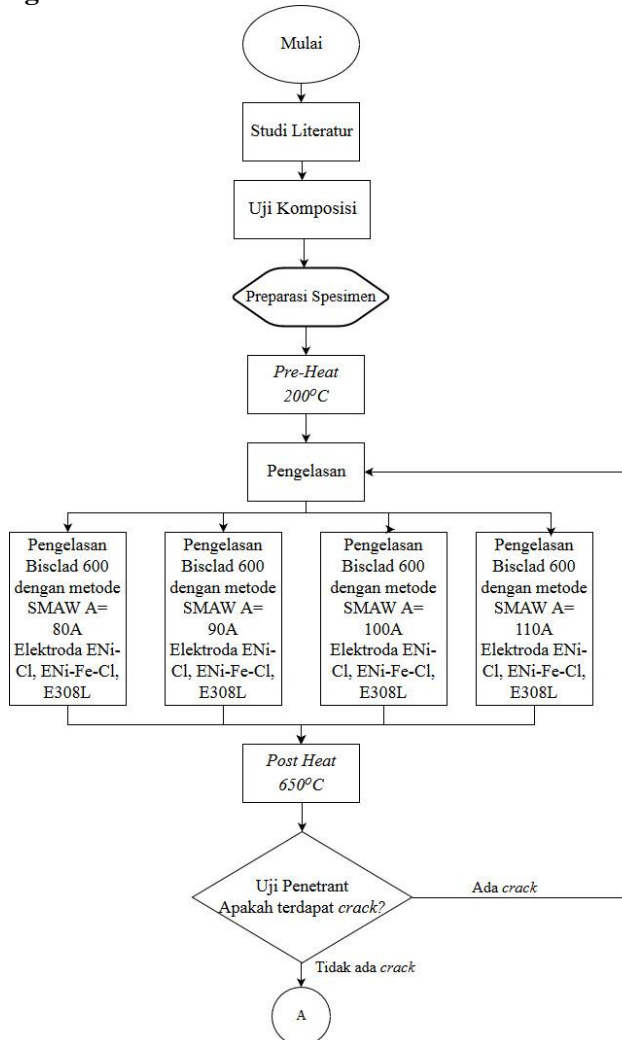


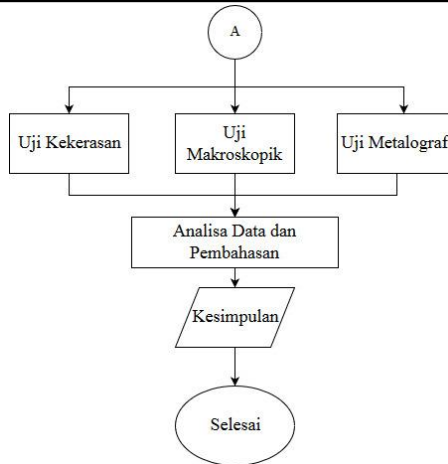
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah dengan studi literatur dan pengujian. Studi literatur mengacu pada *handbook*, buku penunjang, standar internasional, serta jurnal penelitian. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi, uji penetrant, uji makro, uji metalografi, dan uji kekerasan.

3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material Uji

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah Bisclad 600 berbentuk plat ukuran 200 mm x 100 mm x 10 mm (tebal substrat 6 mm dan tebal pelapis 4 mm).



Tabel 3.1 Komposisi Kimia Substrat Bisclad 600

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,19	0,15	0,26	0,02	0,02	0,02	0,002	0,005

Tabel 3.2 Komposisi Kimia pada Pelapis Bisclad 600

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
2,29	0,23	0,64	0,002	0,003	12,72	0,002	0,007

2. Elektroda

Elektroda yang telah digunakan pada proses pengelasan dalam penelitian kali ini adalah elektroda nikel base ENi-CI (CIN-1), ENi-Fe-CI(CIN-2), dan *stainless steel* E308L.

Tabel 3.3 Komposisi kimia elektroda ENi-CI (CIN-1)

C	Mn	Ni	Si	S	P	Al
2,0	0,4	95	1,0	0,02	0,02	0,1

Tabel 3.4 Sifat mekanik elektroda ENi-CI (CIN-1)

<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Hardness</i> (HV)
276-448	262-414	140-230

Tabel 3.5 Komposisi kimia elektroda ENi-Fe-CI (CIN-2)

C	Mn	Ni	Si	S	P	Fe
2,0	0,5	55	0,5	0,02	0,02	balance

Tabel 3.6 Sifat mekanik elektroda ENiFe-CI (CIN-2)

<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Hardness</i> (HV)
400-579	296-434	175-230



Tabel 3.7 Komposisi Kimia Elektroda E308L

C	Cr	Ni	Mo	Cu	Si	P	S	Mn
0,04	18,00	9,00	2,00	0,75	0,9	0,04	0,03	0,5

Tabel 3.8 Sifat mekanik elektroda 308L

<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Hardness</i> (HV)
520 (min)	270 (min)	140 (min)

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat Pemotong
Digunakan untuk memotong spesimen penelitian.
2. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen penelitian.
3. Oxyacetylene Gas Burner
Digunakan untuk *pre-heat* dan *post weld* spesimen penelitian.
4. Mesin Las SMAW
Digunakan untuk mengelas spesimen penelitian.
5. Mesin *Grinding* dan *Polishing*
Digunakan untuk preparasi spesimen metalografi.
6. Amplas grade 80-2000
Digunakan untuk preparasi spesimen metalografi.
7. Gerinda
Digunakan untuk preparasi spesimen metalografi dan kekerasan.
8. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk pengujian kekerasan.
9. Mikroskop Optik
Digunakan untuk pengujian metalografi
10. Kamera
Digunakan untuk mendokumentasi penelitian.



3.5 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap yang telah dilakukan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

3.5.1 Penentuan Parameter Pengelasan

Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang baik, maka dibutuhkan parameter pengelasan yang sesuai. Parameter pengelasan disesuaikan dengan variasi yang ingin diujikan pada spesimen sebagai tertera pada tabel 3.9 berikut:

Tabel 3.9 Parameter Pengelasan

Tegangan (Volts)	12
<i>Travel Speed</i> (mm/min)	100
Arus (Ampere)	80, 90, 100, 110
<i>Preheat</i> (°C)	200
<i>Post Weld Heat Treatment</i> (°C)	650
Tipe Polaritas	DCEP
Elektroda	ENi-CI, ENi-Fe-CI, E308L

3.5.2 Preparasi Spesimen

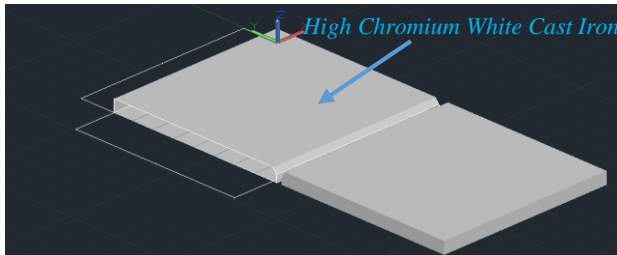
Preparasi Bisclad 600 diawali dengan memotong menjadi beberapa spesimen dengan ukuran 200 mm x 100 mm x 10 mm (6mm baja karbon rendah, 4mm *high chromium cast iron*). Kemudian melakukan pembuatan kampuh las dilanjutkan pemotongan spesimen tersebut menjadi 2 bagian menggunakan *wire cut*. Proses *wire cut* adalah proses pengerjaan material oleh sejumlah loncatan bunga api listrik (spark) yang terjadi pada celah diantara katoda (elektroda) dengan anoda (benda kerja). Loncatan bunga api listrik tersebut terjadi secara tidak kontinu tetapi secara periodik terhadap waktu. Pada proses pemesinan ini digunakan cairan deionized yang disebut dengan cairan dielektrik, berada diantara elektroda dengan benda kerja. Alat biasa digunakan untuk



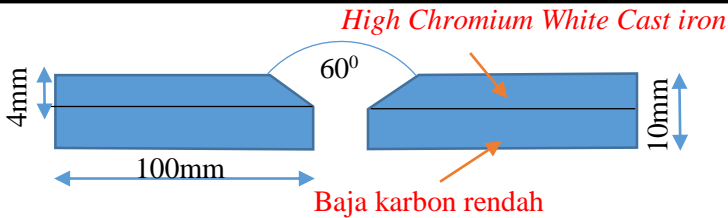
memotong material yang keras dan untuk mendapatkan tingkat presisi yang tinggi.



Gambar 3.2 Mesin *Wire Cut*



Gambar 3.3 Spesimen Pengelasan 3D



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Pengelasan (tampak *cross section*)

3.5.3 Preparasi Spesimen Pengujian

Setelah proses pengelasan dilakukan, selanjutnya spesimen pengujian diberi tanda sesuai dengan variasi arus dan elektroda yang telah diberikan. Spesimen juga disesuaikan dengan dimensi yang tertera pada standar di setiap pengujian.

3.5.4 Pengelasan SMAW

Pada penelitian kali ini, proses pengelasan spesimen dengan menggunakan metode SMAW dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *burner*.
2. Mempersiapkan spesimen.
3. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar.
4. Meletakkan spesimen diatas *backing plate*.
5. Memberikan *pre-heat* kepada spesimen dengan temperatur 200° C
6. Menyiapkan mesin las SMAW.
7. Mempersiapkan elektroda.
8. Mengatur arus, kecepatan pengelasan, serta tegangan sesuai dengan parameter pengelasan yang telah ditentukan.
9. Setelah melakukan persiapan , maka dilakukan proses pengelasan.



10. Setelah proses pengelasan selesai, maka dilakukan PWHT menggunakan burner dengan temperatur 650°C

3.5.5 Proses Pengujian Spesimen

Proses pengujian yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah pengujian makro, pengujian metalografi, *Penetrant Test*, dan pengujian kekerasan.

3.5.5.1 Penetrant Test

Pengujian ini dilakukan setelah proses pengelasan untuk mengidentifikasi tidak ada cacat yang terjadi pada hasil lasan dengan menggunakan cairan cleaner untuk membersihkan permukaan, penetrant yang dialirkan sehingga penetrasi ke dalam spesimen, dan developer untuk melihat hasil penetrant.

3.5.5.2 Pengujian Makroskopik

Pengujian makroskopik dilakukan pada sampel spesimen untuk mengidentifikasi ada tidaknya cacat pada bagian dalam lasan seperti keberadaan *internal crack*, *incomplete fusion*, *blow hole* dan *porosity*. Adapun tahapan yang dilakukan pada pengujian makroskopik ini yaitu :

1. Pemotongan spesimen (*crosscut*) secara melintang pada area lasan.
2. *Mounting* spesimen pada resin
3. *Grinding* menggunakan kertas amplas grade 80cc hingga 2000cc
4. Proses polishing menggunakan *polisher machine* dengan media kain
5. Proses makro etsa menggunakan larutan Etsa Nital Reagent (5ml HNO_3 + 95ml ethanol 95%) untuk CIN-1 dan CIN-2. Etsa picral untuk 308L.
6. Pengamatan bagian lasan pada mikroskop optik dengan perbesaran rendah (berkisar 5 kali hingga 8 kali perbesaran)

3.5.5.3 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengidentifikasi fasa, bentuk, serta ukuran struktur mikro di daerah *base metal*, *heat*



affected zone (HAZ), dan *weld metal* pada spesimen hasil pengelasan. Pengujian metalografi ini menggunakan standar ASM Volume 09 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan

1. *Cutting*

Pemotongan spesimen dilakukan dengan menggunakan gergaji mesin/manual.

2. *Mounting*

Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan spesimen saat proses grinding.

3. *Grinding*

Menggosok spesimen dengan menggunakan amplas silikon karbida mulai dari grade 80 hingga 2000.

4. *Polishing*

Memoles spesimen dengan pasta alumina dengan tujuan untuk memastikan tidak ada goresan pada bagian permukaan.

5. *Etching*

Mencelupkan permukaan spesimen kedalam larutan etsa *Nital* dan etsa *picral* yang digunakan pada pengujian kali ini.

b. Tahap Pengamatan

1. Pengamatan Spesimen

Langkah ini bertujuan untuk mengamati struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan dilakukan dengan beberapa kali perbesaran. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*.



Gambar 3.5 Mikroskop Optik

3.5.5.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan (*Hardness test*) dilakukan untuk mengidentifikasi distribusi kekerasan di daerah *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal*. Standar pengujian kekerasan yang di gunakan adalah dengan menggunakan metode vickers berdasarkan ASTM E92. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A yang terdapat di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.



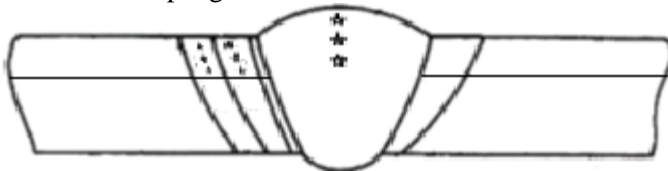
Gambar 3.6 Alat Uji Kekerasan

Berikut merupakan prosedur untuk pengujian kekerasan:

1. Mempersiapkan spesimen sesuai dengan standar pengujian.
2. Mempersiapkan peralatan pengujian *hardness*, untuk pengujian diberikan 3 titik pengujian pada *base metal*, 3 titik pada HAZ , dan 3 titik pada *weld metal*.



3. Pengujian dilakukan pada posisi top, center dan bottom.
4. Meletakkan material uji pada meja kerja, menekan *indentor* pada masing – masing lokasi yang diinginkan pada masing – masing spesimen dengan beban yang ditentukan sesuai standar.
5. *Indentor* diletakkan pada tempat yang diuji kekerasannya dengan cara menekan tombol yang terdapat pada mesin *hardness*. Setelah itu, *indentor* menekan spesimen dengan *dwell time* kurang lebih selama 15 detik.
6. Mencatat hasil pengukuran.



Gambar 3.7 Posisi titik uji kekerasan pada daerah pengelasan

3.6 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian kali ini tertera pada tabel 3.10 berikut:



Tabel 3.10 Rancangan Penelitian

Material	Arus (A)	Elektroda	Penetrant	Makroskopik	Metalografi	Kekerasan
Bisclad 600	80	CIN-1	✓	✓	✓	✓
		CIN-2	✓	✓	✓	✓
		E308L	✓	✓	✓	✓
	90	CIN-1	✓	✓	✓	✓
		CIN-2	✓	✓	✓	✓
		E308L	✓	✓	✓	✓
	100	CIN-1	✓	✓	✓	✓
		CIN-2	✓	✓	✓	✓
		E308L	✓	✓	✓	✓
	110	CIN-1	✓	✓	✓	✓
		CIN-2	✓	✓	✓	✓
		E308L	✓	✓	✓	✓



3.7 Jadwal Penelitian

Tabel 3.11 Jadwal Penelitian

Kegiatan	September				Oktober				Nopember				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Konsultasi dengan Pembimbing																
Penyusunan Laporan																
Preparasi Spesimen																
Proses Pengelasan SMAW																
Pengujian Penetrant																
Pengujian Makro																
Pengujian Metalografi																
Pengujian Kekerasan																



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

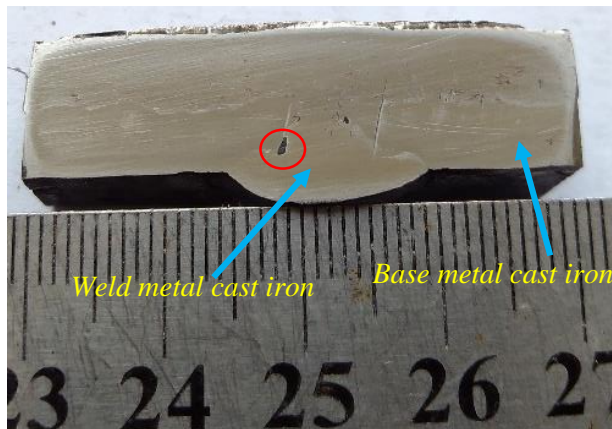


BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

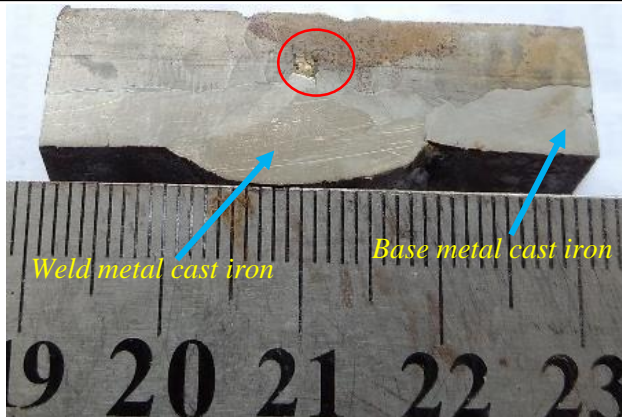
4.1 Analisis Data

4.1.1 Hasil Pengamatan Makro

Berdasarkan hasil pengamatan makro, didapatkan perbedaan daerah hasil pengelasan pada setiap spesimen yaitu *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Lebar HAZ yang terbentuk dipengaruhi oleh besarnya *heat input* yang divariasikan pada penelitian kali ini yaitu arus. Hasil pengamatan secara makro didokumentasikan dalam bentuk foto seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1-4.12.



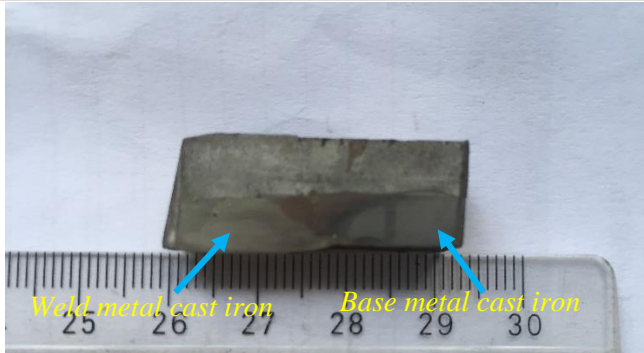
Gambar 4.1 Bisclad 600, arus 80 A dan elektroda CIN-1



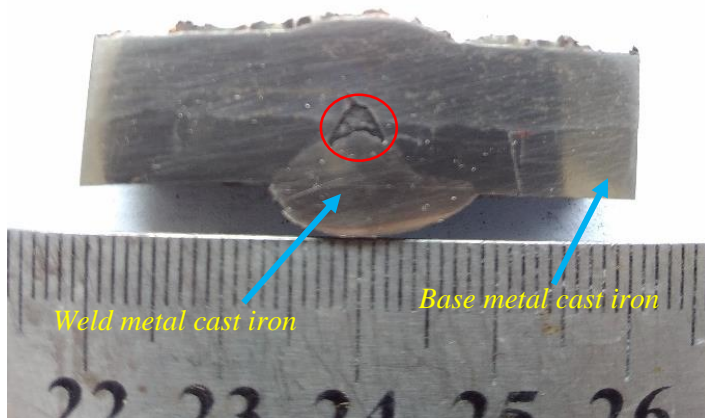
Gambar 4.2 Bisclad 600, arus 90 A dan elektroda CIN-1



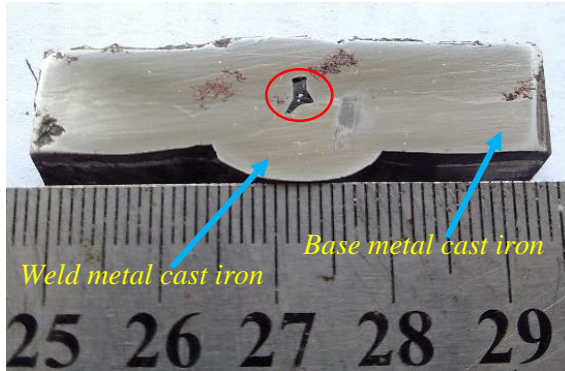
Gambar 4.3 Bisclad 600, arus 100 A dan elektroda CIN-1



Gambar 4.4 Bisclad 600, arus 110 A dan elektroda CIN-1



Gambar 4.5 Bisclad 600, arus 80 A dan elektroda CIN-2



Gambar 4.6 Bisclad 600, arus 90 A dan elektroda CIN-2



Gambar 4.7 Bisclad 600, arus 100 A dan elektroda CIN-2



Gambar 4.8 Bislad 600, arus 110 A dan elektroda CIN-2



Gambar 4.9 Bislad 600, arus 80 A dan elektroda 308L



Gambar 4.10 Bisclad 600, arus 90 A dan elektroda 308L



Gambar 4.11 Bisclad 600, arus 100 A dan elektroda 308L



Gambar 4.12 Bisclad 600, arus 110 A dan elektroda 308L

Pada hasil pengelasan yang diamati secara makro ini dilakukan setelah mengetsa spesimen dengan menggunakan etsa *nital*. Pada pengujian makro ini hanya didapatkan batas antara daerah *weld metal* dan *base metal*, sehingga untuk mengetahui lebar HAZ yang terbentuk dibutuhkan perhitungan data-data yang diperoleh. Pada bagian perbatasan *weld metal cast iron* dan *weld metal* baja karbon rendah yang ditandai dengan lingkaran merah, terlihat adanya porositas yang timbul karena tidak bersihnya permukaan setelah *backweld*.



4.1.2 Hasil Uji Penetrant

Berdasarkan hasil uji penetrant, dapat mengidentifikasi bagian *weld metal* yang *crack* dan porositas dengan tanda garis atau titik berwarna merah. Hasil uji penetrant didokumentasikan dalam bentuk foto seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13-4.24.



Gambar 4.13 *Penetrant* Bisclad 600, arus 80 A, dan elektroda CIN-1



Gambar 4.14 *Penetrant* Bisclad 600, arus 90 A, dan elektroda CIN-1



Gambar 4.15 *Penetrant* Bisclad 600, arus 100 A, dan elektroda CIN-1



Gambar 4.16 *Penetrant* Bisclad 600, arus 110 A, dan elektroda CIN-1

Pada elektroda CIN-1 dengan arus 80A dan 100A terlihat hasil yang baik tanpa adanya *crack* atau porositas. Sedangkan pada arus 90A dan 110A terdapat porositas namun tidak terdapat garis yang menandakan *crack* pada *weld metal*.



Gambar 4.17 *Penetrant* Bisclad 600, arus 80 A, dan elektroda CIN-2



Gambar 4.18 *Penetrant* Bisclad 600, arus 90 A, dan elektroda CIN-2



Gambar 4.19 *Penetrant* Bisclad 600, arus 100 A, dan elektroda CIN-2



Gambar 4.20 *Penetrant* Bisclad 600, arus 110 A, dan elektroda CIN-2

Pada elektroda CIN-2 dengan arus 80A memiliki hasil yang baik, tidak terlihat *crack* atau porositas. Namun pada arus 90A, 100A, dan 110A didapatkan porositas namun tidak terdapat garis yang menandakan *crack* pada *weld metal*.



Gambar 4.21 *Penetrant* Bisclad 600, arus 80 A, dan elektroda 308L



Gambar 4.22 *Penetrant* Bisclad 600, arus 90 A, dan elektroda 308L



Gambar 4.23 *Penetrant* Bisclad 600, arus 100 A, dan elektroda 308L















Gambar 4.24 *Penetrant* Bisclad 600, arus 110 A, dan elektroda 308L

Pada elektroda 308L dengan arus 80A memiliki hasil yang baik, tidak terlihat adanya *crack* atau porostias, sedangkan pada arus 90A, 100A, dan 110A memiliki garis berwarna merah yang menandakan *crack* pada *weld metal*.



Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Makro

No	Parameter		Gambar	Deskripsi
	Elektroda	Arus (A)		
1	CIN-1	80		Simetris, baik
2		90		Simetris, porositas
3		100		Tidak simetris, baik
4		110		Tidak simetris, porositas
5	CIN-2	80		Simetris, baik
6		90		Simetris, porositas
7		100		Simetris, porositas
8		110		Tidak simetris, porositas
9	308L	80		Simetris, baik
10		90		Tidak simetris, crack
11		100		Simetris, crack
12		110		Simetris, crack

*baik = tidak ada crack pada *weld metal*

4.1.3 Hasil Perhitungan Lebar HAZ

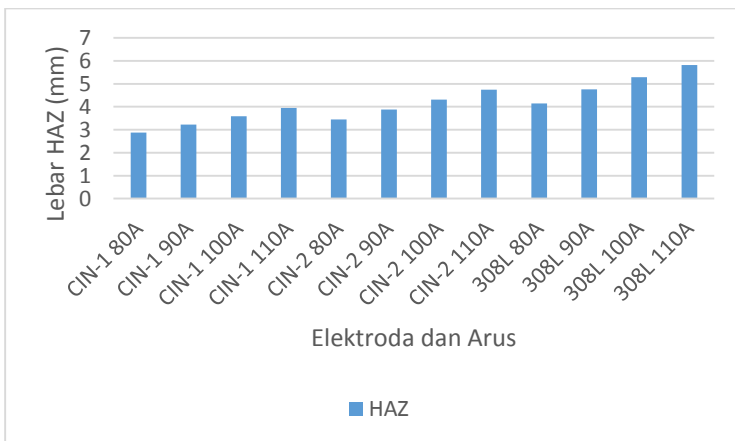
Berdasarkan pemberian variasi arus pengelasan yang dilakukan pada saat proses pengelasan, didapatkan lebar *Heat Affected Zone* (HAZ) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2.



Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Lebar HAZ

No	Parameter		<i>Heat Input</i> (J/mm)	Lebar HAZ (mm)
	Elektroda	Arus (A)		
1	CIN-1	80	518,40	2,87
2		90	583,20	3,23
3		100	648,00	3,59
4		110	712,80	3,95
5	CIN-2	80	518,40	3,45
6		90	583,20	3,88
7		100	648,00	4,31
8		110	712,80	4,74
9	308L	80	518,40	4,14
10		90	583,20	4,76
11		100	648,00	5,29
12		110	712,80	5,82

Data lebar HAZ pada tabel di atas dibuat menjadi grafik perbandingan seperti ditunjukkan pada gambar 4.25

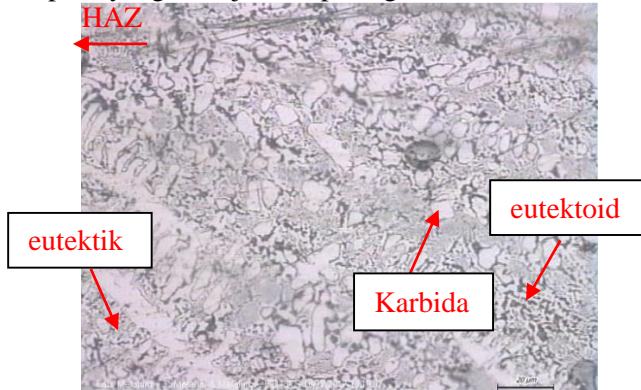


Gambar 4.25 Grafik perbandingan lebar *Heat Affected Zone* (HAZ)

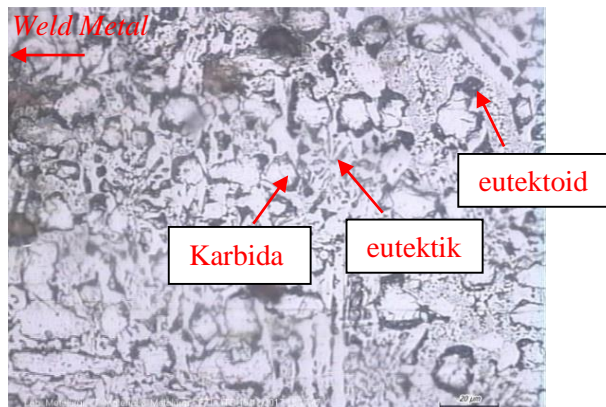


4.1.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

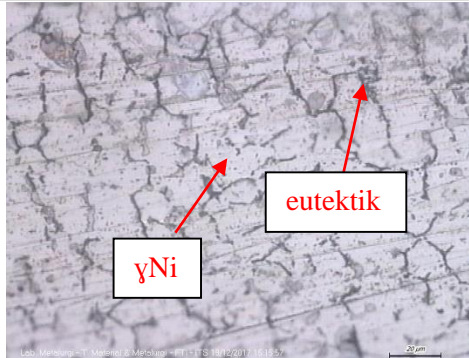
Pengamatan ini dilakukan menggunakan mikroskop optik sehingga didapatkan struktur mikro pada ketiga daerah hasil pengelasan, yaitu *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14-4.49.



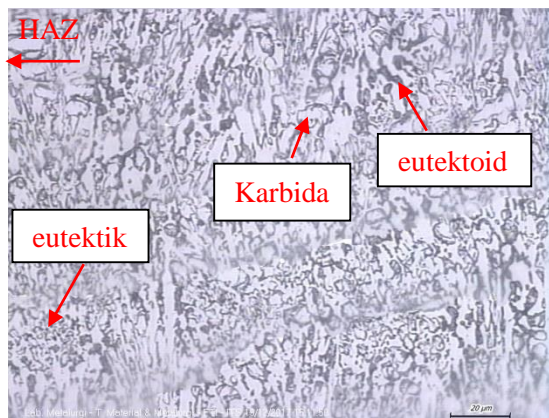
Gambar 4.26 *base metal*, arus 80 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



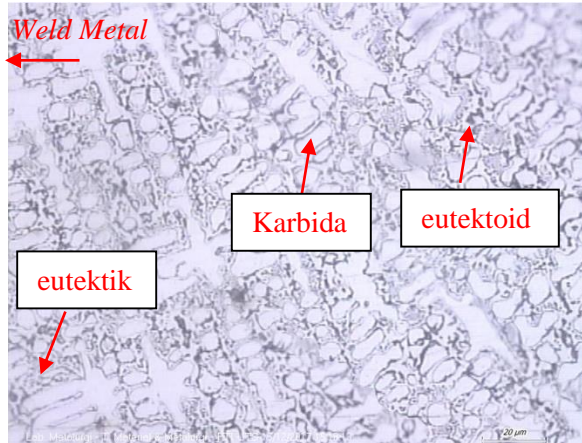
Gambar 4.27 HAZ, arus 80 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



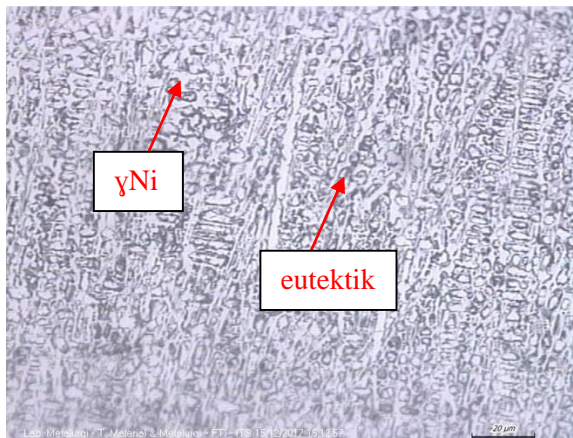
Gambar 4.28 *weld metal*, arus 80 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



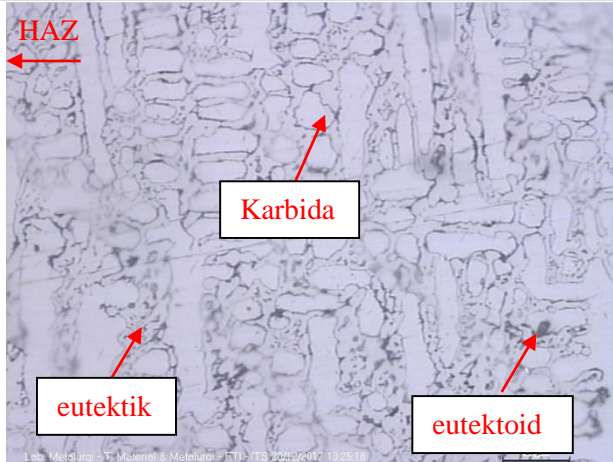
Gambar 4.29 *base metal*, arus 90 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



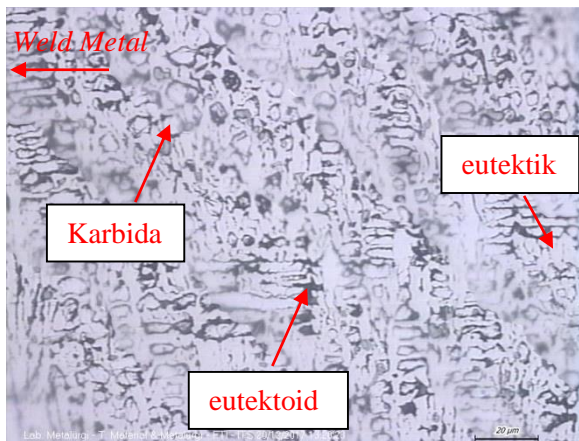
Gambar 4.30 HAZ, arus 90 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



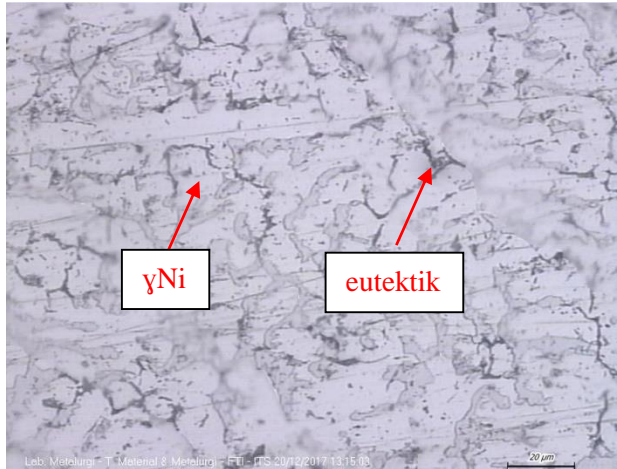
Gambar 4.31 weld metal, arus 90 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



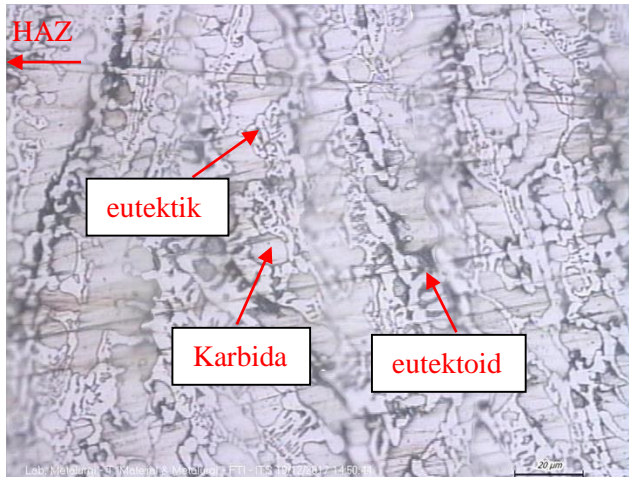
Gambar 4.32 base metal, arus 100 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



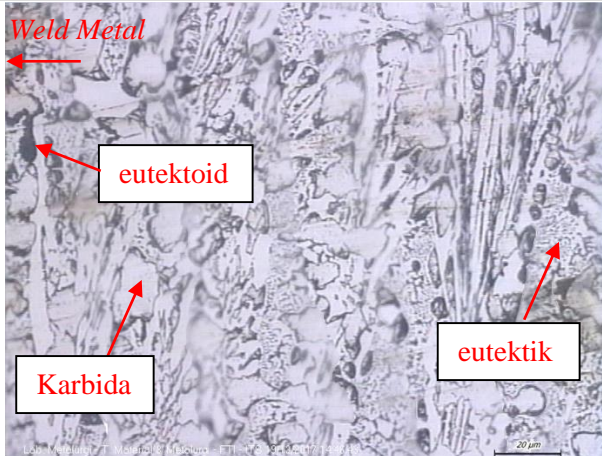
Gambar 4.33 HAZ, arus 100 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



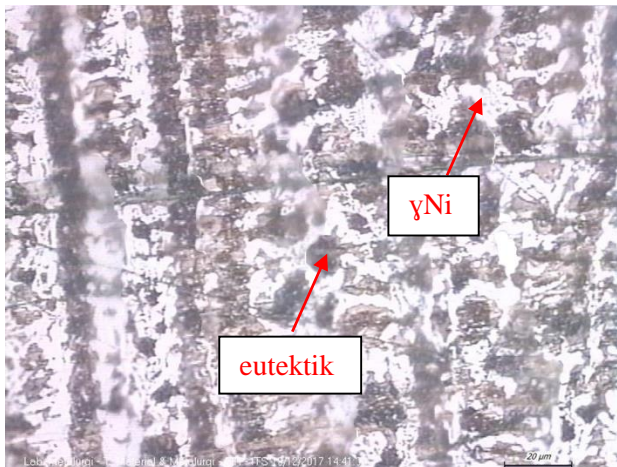
Gambar 4.34 *weld metal*, arus 100 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



Gambar 4.35 *base metal*, arus 110 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



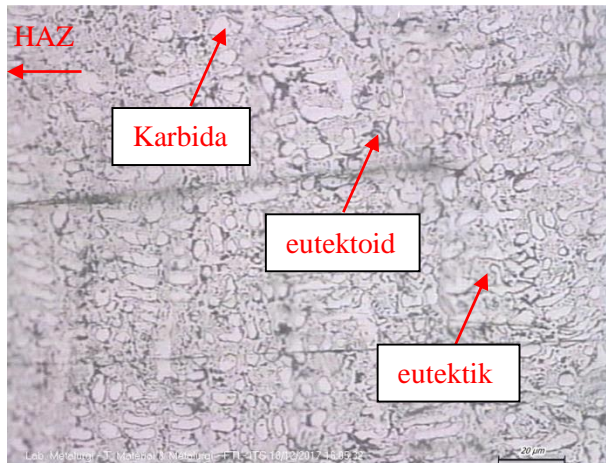
Gambar 4.36 HAZ, arus 110 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



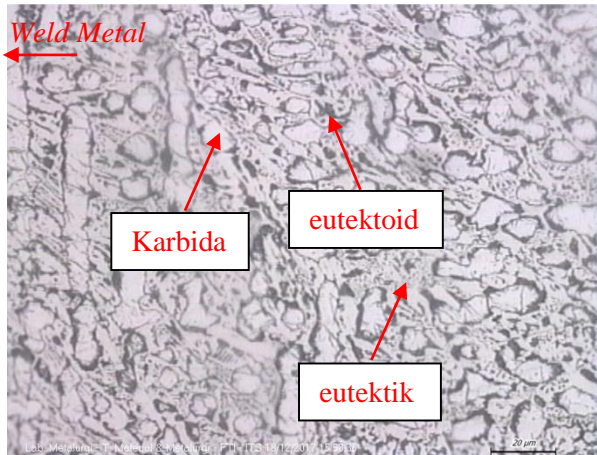
Gambar 4.37 weld metal, arus 110 A dan elektroda CIN-1 perbesaran 500x dengan etsa nital



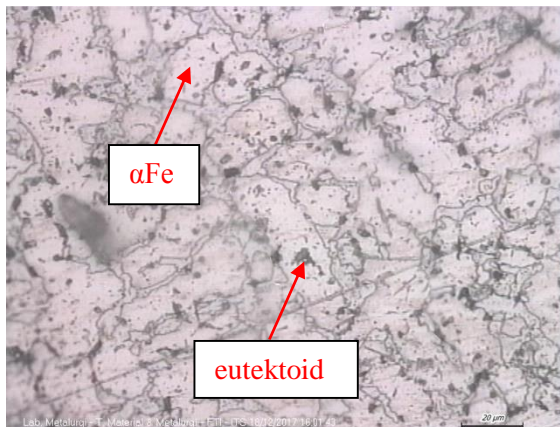
Pada HAZ dan *base metal* elektroda CIN-1, ditemukan fasa eutektoid(α +sementit) + eutektik(γ +sementit) + karbida krom yang berbentuk dendritik. Sedangkan pada bagian *weld metal* terdapat fasa γ Ni + eutektik (γ Ni+C), hal ini dikarenakan CIN-1 memiliki komposisi nikel murni sehingga γ Ni mendominasi. Semakin besar arus maka butir semakin kecil.



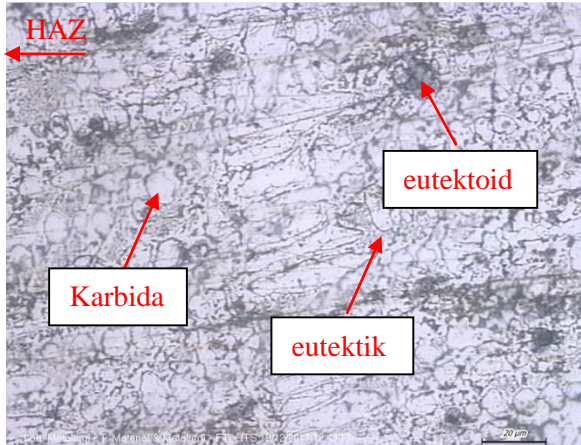
Gambar 4.38 *base metal*, arus 80 A dan elektroda CIN-2
perbesaran 500x dengan etsa nital



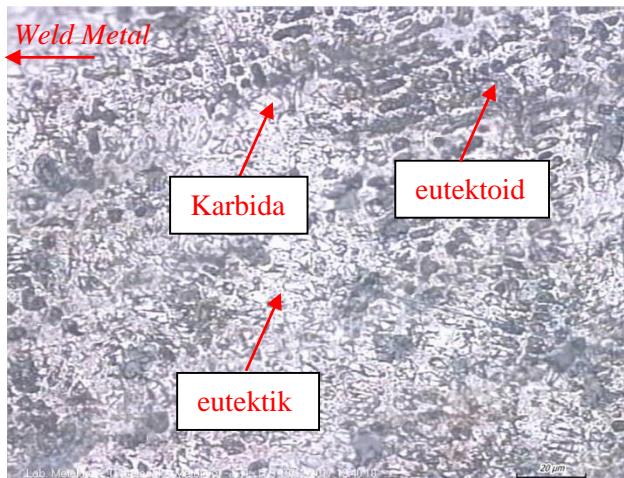
Gambar 4.39 HAZ, arus 80 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



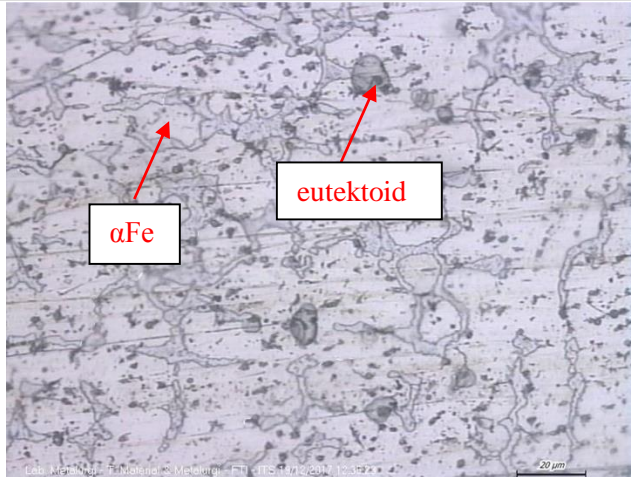
Gambar 4.40 weld metal, arus 80 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



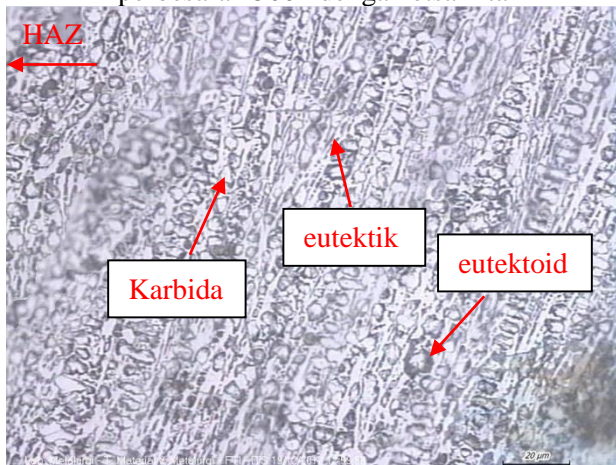
Gambar 4.41 *base metal*, arus 90 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



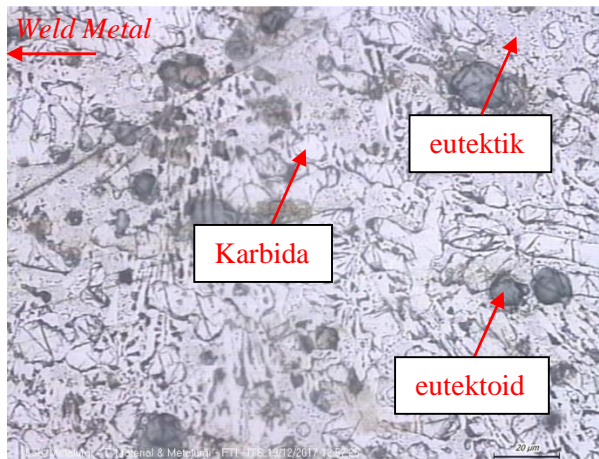
Gambar 4.42 HAZ, arus 90 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



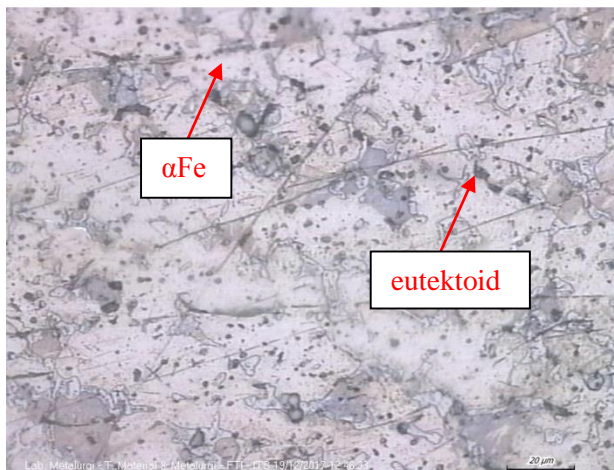
Gambar 4.43 *weld metal*, arus 90 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



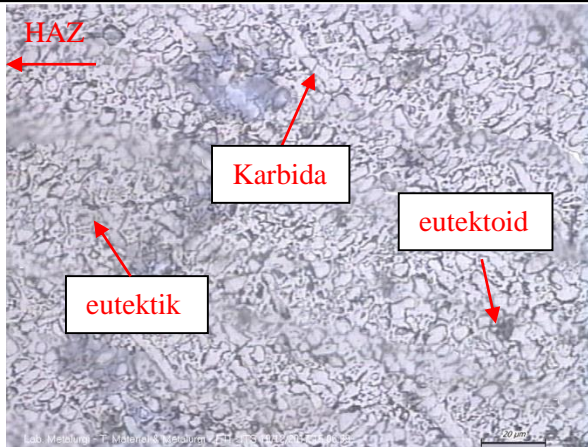
Gambar 4.44 *base metal*, arus 100 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



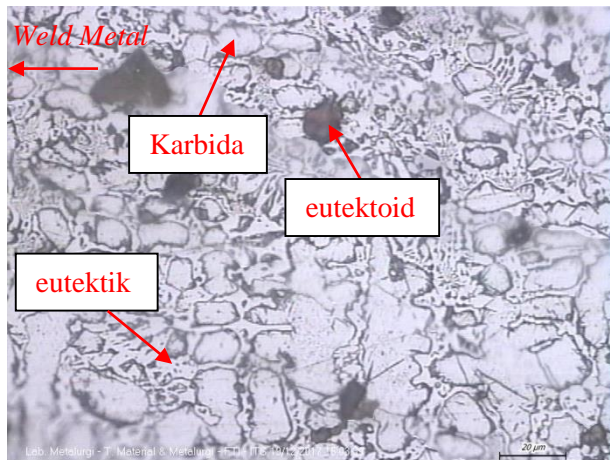
Gambar 4.45 HAZ, arus 100 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



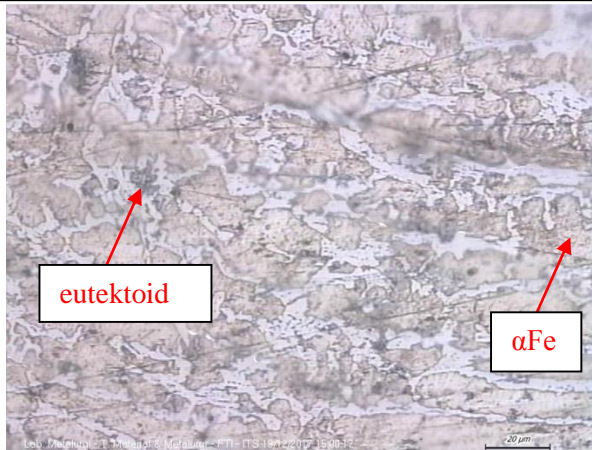
Gambar 4.46 weld metal, arus 100 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital



Gambar 4.47 base metal, arus 110 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital

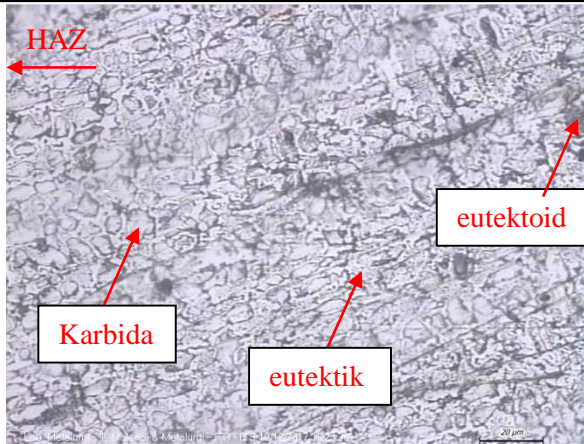


Gambar 4.48 HAZ, arus 110 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital

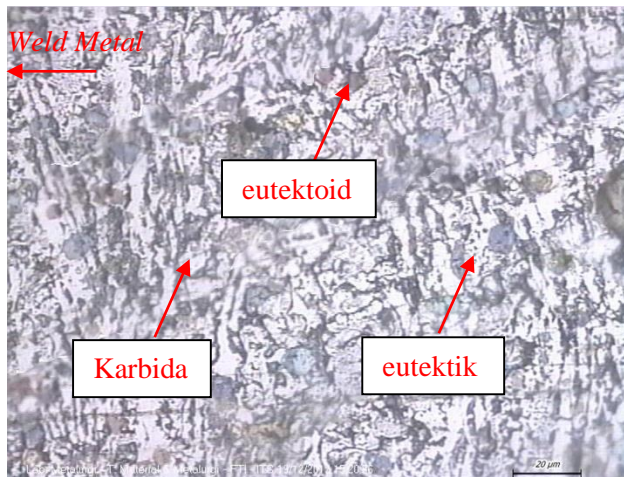


Gambar 4.49 *weld metal*, arus 110 A dan elektroda CIN-2 perbesaran 500x dengan etsa nital

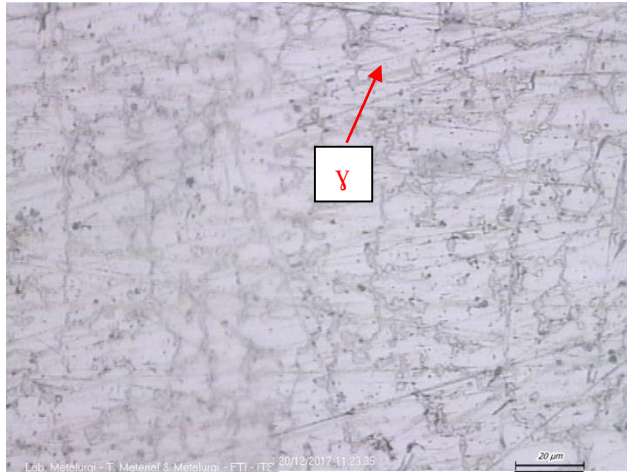
Pada bagian HAZ dan *base metal* dengan elektroda CIN-2, didapatkan fasa eutektoid(α +sementit) + eutektik(γ +sementit) + karbida. Butir yang kecil dan karbida krom yang berbentuk dendritik tidak berbeda jauh dengan CIN-1. Namun pada bagian *weld metal* CIN-2 terlihat persebaran nikel yang lebih sedikit karena komposisi elektroda ini tidak murni nikel. CIN-2 memiliki komposisi nikel 45-60% dan Fe yang *balance* sehingga terlihat persebaran Fe yang terbentuk. Pada daerah *weld metal* didapatkan fasa α Fe + eutektoid (α Fe + FeNi_3). Semakin besar arus maka butir semakin kecil.



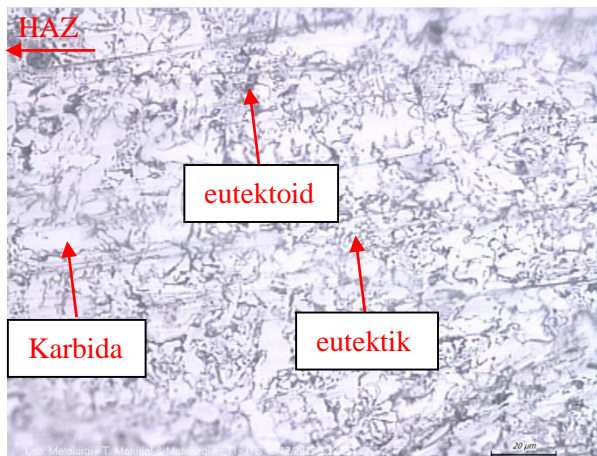
Gambar 4.50 *base metal*, arus 80 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



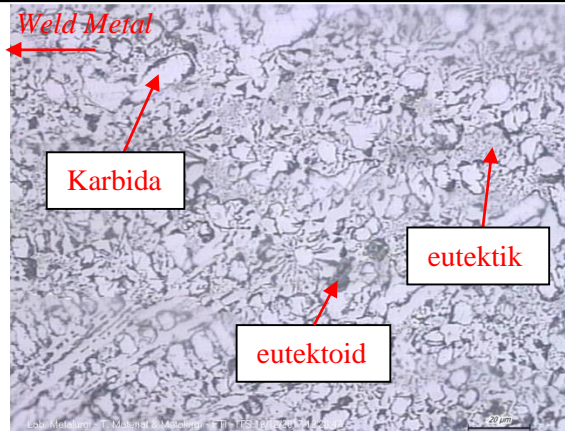
Gambar 4.51 HAZ, arus 80 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



Gambar 4.52 *weld metal*, arus 80 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa picral



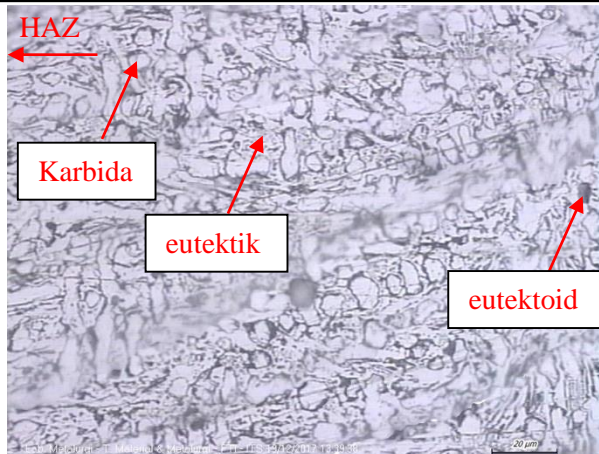
Gambar 4.53 *base metal*, arus 90 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



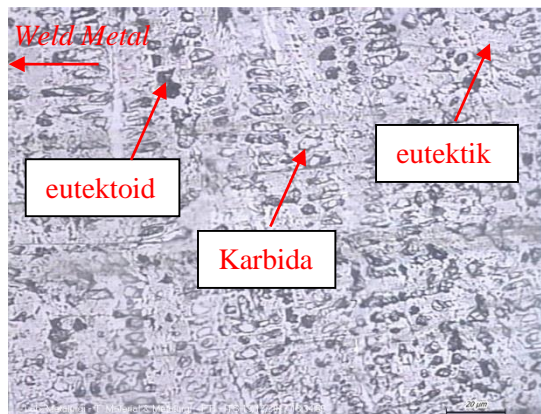
Gambar 4.54 HAZ, arus 90 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



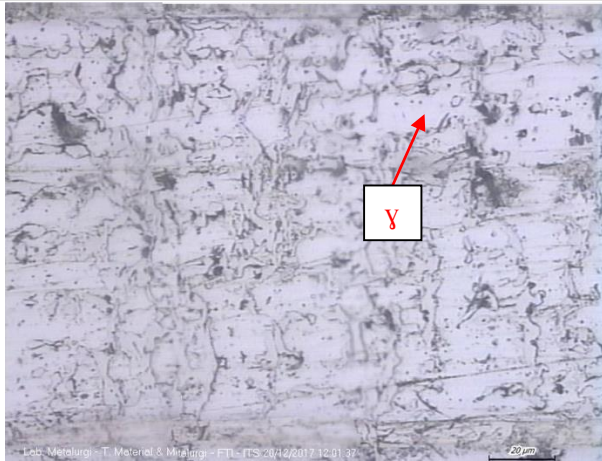
Gambar 4.55 *weld metal*, arus 90 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa picral



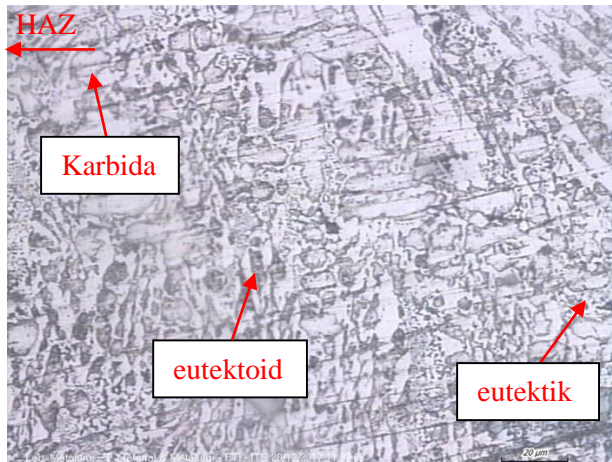
Gambar 4.56 base metal, arus 100 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



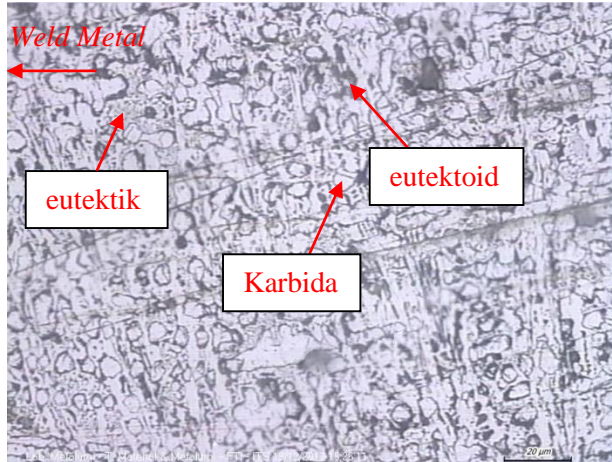
Gambar 4.57 HAZ, arus 100 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



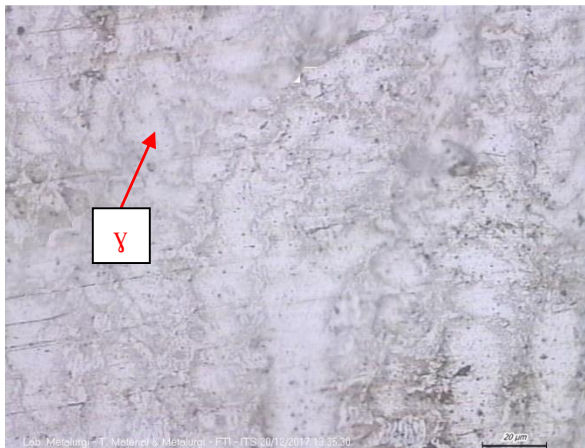
Gambar 4.58 *weld metal*, arus 100 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa picral



Gambar 4.59 *base metal*, arus 110 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



Gambar 4.60 HAZ, arus 110 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa nital



Gambar 4.61 weld metal, arus 110 A dan elektroda 308L perbesaran 500x dengan etsa picral

























Pada bagian HAZ dan *base metal* dengan elektroda 308L, didapatkan fasa eutektoid(α +sementit) + eutektik(γ +sementit) +



karbida krom. Butir yang kecil dan karbida krom yang berbentuk dendritik. Sedangkan pada daerah *weld metal* didapatkan fasa γ (austenit) yang terbentuk dari elektroda 308L yang merupakan *austenitic stainless steel*. Semakin besar arus maka butir semakin kecil.

Perbandingan dari keseluruhan struktur mikro pada daerah HAZ dan *weld metal* ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Struktur Mikro HAZ dan *Weld Metal*

No	Parameter		HAZ	Weld Metal
	Elektroda	Arus (A)		
1	CIN-1	80		
2		90		
3		100		
4		110		
5	CIN-2	80		
6		90		
7		100		
8		110		
9	308L	80		
10		90		
11		100		
12		110		

Dari ketiga elektroda diatas untuk daerah *base metal* dan HAZ fasa yang terbentuk adalah fasa eutektoid(α +sementit) + eutektik(γ +sementit) + karbida krom yang tidak berbeda jauh.



Pada daerah *weld metal* tiap elektroda memiliki perbedaan fasa karena komposisi dari elektroda yang berbeda. Pada elektroda CIN-1 fasa yang terbentuk adalah fasa $\gamma\text{Ni} + \text{eutektik } (\gamma\text{Ni} + \text{C})$, karena komposisi elektroda CIN-1 ini mengandung unsur nikel murni. Pada elektroda CIN-2 fasa terbentuk adalah fasa $\alpha\text{Fe} + \text{eutektoid } (\alpha\text{Fe} + \text{FeNi}_3)$, karena komposisi elektroda CIN-2 ini mengandung unsur nikel 45-60% dan Fe yang *balance*. Sedangkan pada elektroda 308L fasa yang terbentuk adalah fasa γ (austenit), karena komposisi elektroda 308L ini merupakan *austenitic stainless steel*.

4.1.5 Hasil Pengujian Kekerasan

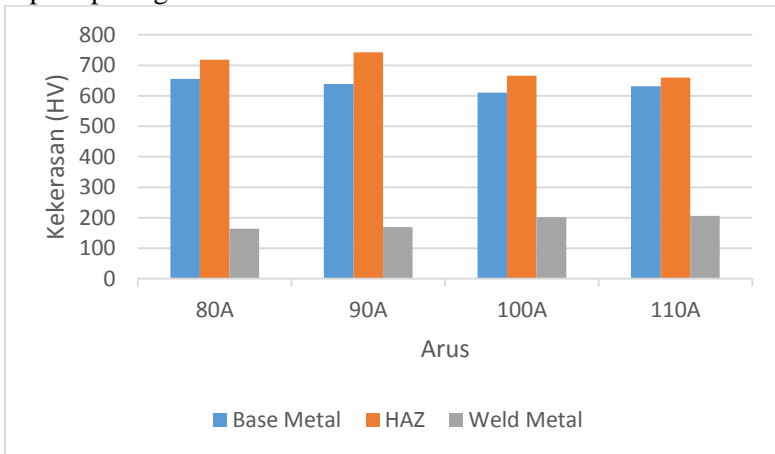
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *vickers*. Pengambilan data dilakukan di 3 titik indentasi di masing-masing 3 daerah hasil las yang berbeda, yaitu *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Untuk mengetahui distribusi kekerasan pada setiap spesimen. Berikut ini adalah nilai rata-rata distribusi kekerasan di tiap daerah indentasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Bisclad 600

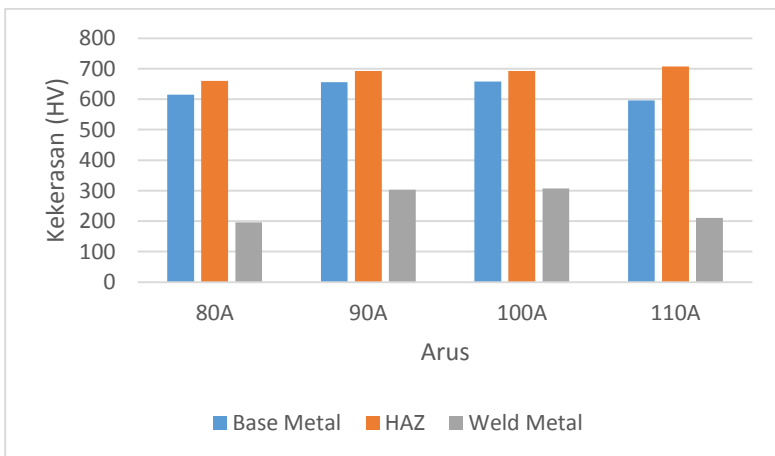
Parameter		Kekerasan Rata-rata (HV)		
Elektroda	Arus (A)	<i>Base Metal</i>	<i>HAZ</i>	<i>Weld Metal</i>
CIN-1	80	655,33	719,00	164,67
	90	638,33	742,67	169,00
	100	610,67	665,67	202,33
	110	631,33	659,67	206,67
CIN-2	80	615,33	659,67	195,67
	90	655,33	692,67	303,33
	100	658,33	692,67	307,00
	110	595,67	707,00	211,00
308L	80	635,00	722,00	274,33
	90	649,33	699,33	257,33
	100	627,67	721,00	301,67
	110	648,00	749,33	270,67



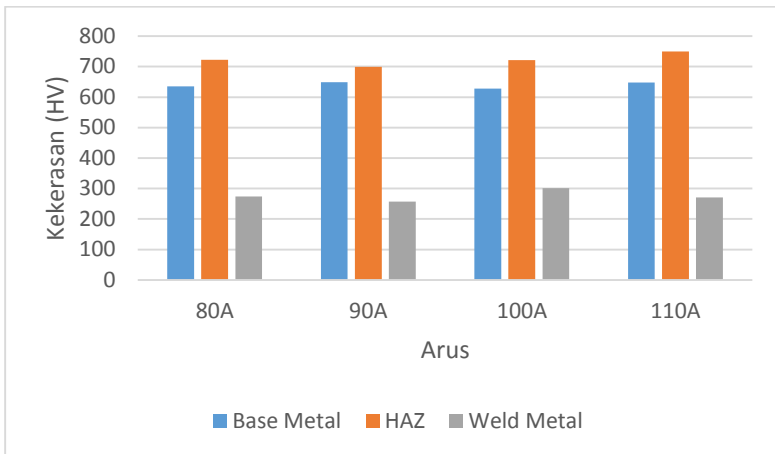
Dari hasil data di atas kemudian diplot menjadi grafik seperti pada gambar 4.62-4.65



Gambar 4.62 Nilai kekerasan daerah pengelasan dengan elektroda CIN-1

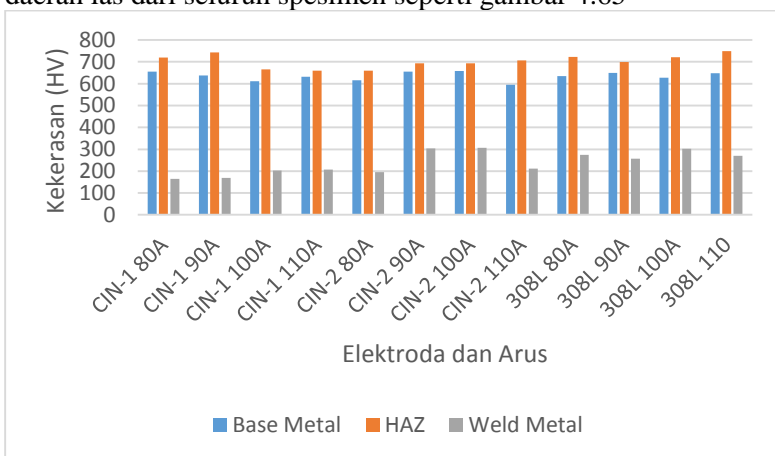


Gambar 4.63 Nilai kekerasan daerah pengelasan dengan elektroda CIN-2



Gambar 4.64 Nilai kekerasan daerah pengelasan dengan elektroda 308L

Berikut adalah perbandingan nilai kekerasan pada setiap daerah las dari seluruh spesimen seperti gambar 4.65



Gambar 4.65 Keseluruhan nilai kekerasan sampel uji



Setiap *weld metal* dari ketiga elektroda yang berbeda memiliki nilai kekerasan jauh lebih rendah dari *base metal* dan HAZ. Karena material elektroda secara spesifikasi memiliki kekerasan yang jauh lebih rendah dibandingkan *base metal high chromium white cast iron*.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil uji makro seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1-4.12, didapatkan perbedaan daerah hasil las yaitu *base metal* dan *weld metal*. Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) tidak dapat dilihat secara makro sehingga membutuhkan perhitungan *Heat Input* untuk mengetahui lebar HAZ. Pada data hasil perhitungan HAZ seperti pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Heat Input*, maka semakin meningkat lebar HAZ (Santoso, 2006). *Heat Input* yang tinggi menyebabkan daerah *weld metal* menerima panas lebih besar sehingga *weld metal* cenderung lebih dalam melebar.

Pada hasil uji metalografi yang ditunjukkan pada gambar 4.26-4.61, dapat dilihat perbedaan bentuk struktur mikro pada setiap daerah las setelah diamati menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Pada *base metal*, fasa yang terbentuk adalah fasa eutektoid (α +sementit) + eutektik (γ +sementit) + karbida krom yang memiliki ukuran yang kecil dan tidak terlalu berbeda jauh antara satu fasa karbida krom dengan fasa karbida krom lainnya (Jacuinde et al., 2015). Pada daerah ini tidak mengalami banyak perubahan karena tidak terkena panas yang besar saat proses pengelasan. Pada daerah HAZ, fasa yang terbentuk adalah fasa eutektoid (α +sementit) + eutektik (γ +sementit) + karbida krom, namun memiliki butir yang lebih halus dibandingkan karbida krom yang ada pada *base metal*. Hal tersebut terjadi karena HAZ merupakan daerah logam dasar yang terkena panas paling dekat dengan sumber panas pada saat pengelasan, daerah HAZ ini berhubungan dengan *Heat Input*, sedangkan *Heat Input* dipengaruhi oleh besarnya arus, semakin besarnya arus semakin halus butirannya sehingga fasa karbida



krom terlihat lebih halus. Pada *weld metal* dengan elektroda CIN-1 didapatkan fasa $\gamma\text{Ni} + \text{eutektik } (\gamma\text{Ni} + \text{C})$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, karena komposisi dari CIN-1 sendiri mengandung unsur nikel murni seperti pada tabel 3.3. Pada *weld metal* dengan elektroda CIN-2 terlihat fasa $\alpha\text{Fe} + \text{eutektoid } (\alpha\text{Fe} + \text{FeNi}_3)$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, namun fasa nikel lebih sedikit daripada CIN-1 yang mengandung nikel murni, hal ini terjadi karena komposisi dari CIN-2 mengandung unsur nikel 45-60% dan *Fe balance* (M.A. Morsy, 2011). Pada *weld metal* dengan elektroda 308L terlihat fasa γ (austenit) seperti pada Gambar 2.13, karena elektroda ini merupakan *austenitic stainless steel*.

Berdasarkan hasil uji kekerasan yang ditunjukkan pada tabel 4.5, dapat dilihat spesimen yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada daerah *heat affected zone* (HAZ) yaitu sebesar 749,33 HV adalah spesimen dengan arus 110 A menggunakan jenis elektroda 308L. Daerah *heat affected zone* (HAZ) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari *base metal* karena merupakan daerah yang paling dekat dengan *weld metal* sehingga terkena panas yang tinggi. Hal ini menyebabkan butirnya lebih halus namun tidak jauh perbedaannya. (Putra, 2011). Kemudian pada daerah *weld metal* nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 307 HV adalah spesimen dengan arus 100 A menggunakan jenis elektroda CIN-2. Daerah *Weld Metal* ini merupakan nilai kekerasan yang paling rendah pada arus 80A dengan elektroda jenis CIN-1 sebesar 164,67 HV dan yang paling tinggi pada 110A sebesar 206,67HV, karena komposisi kimia dari elektroda itu sendiri yang mengandung nikel murni dan butir yang besar. Untuk elektroda CIN-2 nilai kekerasan *weld metal* yang paling rendah ada pada arus 80A sebesar 195,67 HV. Sedangkan yang paling tinggi pada 100A sebesar 307,00HV. Karena komposisi kimia CIN-2 selain mengandung nikel yaitu terdapat Fe sekitar 45% dan ukuran butir yang lebih halus dari CIN-1. Adanya senyawa intermetalik FeNi_3 ini menyebabkan CIN-2 lebih tinggi nilai kekerasannya. Pada elektroda 308L nilai kekerasan *weld metal* terendah ada pada



arus 90A sebesar 257,33HV. Sedangkan yang tertinggi pada arus 100A sebesar 301,67HV. Komposisi kimia 308L memiliki kadar karbon yang rendah dan fasa yang terbentuk hanya γ (austenit). Karena jenis elektroda dan *base metal high chromium white cast iron* merupakan dua material dengan komposisi dan sifat mekanik yang berbeda sehingga kekerasan pada *weld metal* ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan *base metal high chromium white cast iron*.

Dengan melihat hasil pengujian dan observasi di atas, masing-masing elektroda memiliki satu hasil terbaik. Pada elektroda CIN-1 dengan arus 100A secara makro, hasil uji penetrant tidak memiliki cacat dan hasil uji kekerasan *weld metal* sebesar 202,33HV. Pada elektroda CIN-2 dengan arus 100A secara makro, hasil uji penetrant memiliki porositas dan hasil uji kekerasan *weld metal* sebesar 307HV. Pada elektroda 308L dengan arus 100A secara makro, hasil uji penetrant memiliki *crack* dan hasil uji kekerasan *weld metal* sebesar 301,67HV. Dengan mempertimbangkan hasil uji makro, penetrant, dan nilai kekerasan. Spesimen dengan arus 100A dan elektroda CIN-2 menghasilkan produk lasan yang paling memadai dibanding parameter lainnya untuk pengelasan Bislad 600. Parameter ini dipilih karena memiliki kekerasan yang paling tinggi meskipun terdapat porositas.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi arus dan jenis elektroda terhadap struktur mikro dan kekerasan hasil pengelasan Biscad 600 dengan menggunakan metode SMAW, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil sambungan pada daerah *weld metal* yang paling memadai adalah variasi arus 100A dengan jenis elektroda CIN-2.
2. Semakin tinggi arus pada tiap elektroda yang berbeda diberikan maka menghasilkan struktur mikro yang lebih halus.
3. Pada bagian *weld metal* memiliki nilai kekerasan yang rendah karena komposisi kimia elektroda yang berbeda dengan *base metal high chromium white cast iron*. Meskipun demikian, masih dapat digunakan mengingat fungsi dari material ini sebagai *casing rotary feeder* yang menahan *flow rate* partikel semen, relatif tidak menerima beban berlebih.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian serta kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Dibutuhkan pengujian mekanik selain uji kekerasan untuk mengidentifikasi pengaruh pengelasan pada sifat mekanik Biscad 600.
2. Dibutuhkan peningkatan *range* terhadap *heat input* dengan jarak yang signifikan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1991. *ASM Handbook Vol. 1 Properties and Selection Iron Steels and High Performance Alloy*. USA: ASM International.
- _____. 1993. *ASM Handbook Vol. 6 WELDING, BRAZING, AND SOLDERING*. ASM International.
- Avner, Sidney H. 1997. *Introduction to Physical Metallurgy*. New York: McGraw Hill.
- Bisalloy, P. B. *Product Catalog*. Dipetik September 4, 2017.
Bimabisalloy.com:bimabisalloy.com/downlot.php?file=product_Catalog_Bim aBisalloy.pdf
- Callister Jr., W. D., & Rethwisch, D. G. 2013. *Materials Science and Engineering : An Introduction, 9th Edition* . Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Fernandez, Belzunce. 2008. *Wear and oxidation behavior of high chromium white cast irons*. *Journal of Material Characterisation*, 59(6), hal. 669–674.
- Funderburk, R. S. 1998. *Post Weld Heat Treatment*. Dalam R. S. Funderburk, *Welding Innovation*.
- Gupta, R.B. 2002. *Material Science, 11th Edition*. India: Satya Prakashan.
- Hari, Amanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Smar Grafika Offset.
- Jacuinde, A.B. 2015. *Abrasive Wear of V-b-Ti Alloyed High-Chromium White Iron*.
- Joseph R Davis. 2001. *Alloying : Understanding the Basics*. ASM International.
- Khan, Ibrahim. (2007). *Welding Science and Technology*. New Delhi: New Age International.
- Kou, Sindo. 1987. *Welding Metallurgy*. New York: John Wiley & Sons.
- Matsubara, Y. 2001. *Solidification and Abrasion Wear of White Cast Iron Alloyed with 20% Carbide Forming Element*.
- Messler, Robert W. 1999. *Principle of Welding: Processes*,

- Physics, Chemistry and Metallurgy*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Morsy, M.A. 2011. *Repair Maintenance of Diesel Engine Cylinder Head*. Journal of American Science.
- Muliadi, Rodesri. 2009. *Review Metalurgi Las Baja Tahan Karat*. Jurnal Teknik Mesin.
- Muna, Meilati. 2017. *Repairing Cylinder Head Engine Komatsu 12V140 Series : Analisa Pengaruh Variasi Filler dan Post-Weld Heat Treatment (PWHT) terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Hasil Lasan TIG Cast Iron FC250*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nasir, N.I. 2015. *Effect of Heat Treatment on The Mechanical Properties of Stainless Steel Type 304*. International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER).
- Putra, Dimas. 2011. *Analisa Hasil Pengelasan SMAW pada Baja Tahan Karat Feritik dengan Variasi Arus dan Elektroda*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- S, Petchsang. 2012. *Microhardness and Microstructure on Welding of Nodular Cast iron grade FCD 500*. AIJSTPME
- Sadeghi, Alireza. 2016. *An Investigation of Abrasive Wear and Corrosion Behavior of Surface Repair of Gray Cast Iron by SMAW*.
- Sahlan. 2015. *Analisis Cacat Las Incomplete Fusion dan Retak Memanjang pada Waterwall Tube Boiler PLTU Paiton Unit 1*.
- Santoso, Joko. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018*. Universitas Negeri Semarang.
- Shaik, Nagulmeera. 2013. *Design, Modeling and Analysis of Rotary Air-Lock Valve*. India: IJCER. Vol. 02.
- Sharma, S. D. 2013. *A review on Effect of Preheating and/or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Hardened Steel*. International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology.
- Sordia, T. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradya

- Paramitha.
- Subardi, Kartikasari, R., Suplani, A. 2011. *Jurnal Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Martensitic White Cast Iron ASTM A532*.
- Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam II*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- Suwarno. 2005. *Investigasi Derajat Presipitasi Karbida Krom pada Baja Tahan Karat Austenitik terhadap Pengamatan Makro*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Taniguchi, K. 2013. *Effects of Post Weld Heat Treatment (PWHT) Temperature on Mechanical Properties of Weld metal s for High-Cr*. *Kobelco Technology Review*, 33.
- Technology, H. I. 2012. Shield Metal Arc Welding. Dalam H. I. Technology, *Shield Metal Arc Welding* (hal. 58). Ohio: Hobart Institute of Welding Technology.
- Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya
- Zamil. 2009. *Welding Article Stainless Steel and Weldability*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 1

Lampiran Sertifikat Material

PT. LOGAMINDO SARIMULIA
IRON AND STEEL FOUNDRY

Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542

E-mail : Lisafoundry@gmail.com

www.logamindosarimulia.com

Method: Fe-30-F
Comment: Cr/CrNi Steel

Element concentration

11/22/2017 1:40:29 PM

Sample Name:

Quality:

Fc +Cr

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	2.24	0.206	0.654	< 0.0050	< 0.0050	12.39	< 0.0020	0.0667
2	2.41	0.248	0.643	< 0.0050	0.0040	12.75	< 0.0020	0.0759
3	2.22	0.239	0.630	0.0061	0.0042	13.00	< 0.0020	0.0711
< x > (3)	2.29	0.231	0.642	0.0024	0.0028	12.72	< 0.0020	0.0722
sd	0.103	0.0222	0.0119	0.0032	0.0021	0.305	0.00090	0.0033
rad	4.5	0.6	1.8	136.6	71.8	2.4	0.0	4.5

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.485	0.0061	0.0052	< 0.0040	0.0026	0.0230	< 0.0100	0.0079
2	0.628	0.0092	0.0064	< 0.0040	0.0040	0.0236	0.0137	0.0062
3	0.522	0.0060	0.0056	< 0.0040	0.0027	0.0225	< 0.0100	0.0044
< x > (3)	0.546	0.0078	0.0057	< 0.0040	0.0031	0.0231	0.0112	0.0062
sd	0.0742	0.0016	0.00061	0.00000	0.00078	0.00069	0.0021	0.0018
rad	13.6	20.4	10.7	0.0	24.3	3.0	19.1	28.4

	Sn	As	Ca	B	Fe	Sb
	%	%	%	%	%	%
1	0.0112	< 0.0015	0.0045	> 0.0240	83.8	< 0.0020
2	0.0116	< 0.0015	> 0.0050	> 0.0240	83.1	< 0.0020
3	0.0080	< 0.0015	0.0040	> 0.0240	83.2	0.0037
< x > (3)	0.0103	< 0.0015	0.0048	> 0.0240	83.4	0.0026
sd	0.0019	0.00000	0.0011	0.00000	0.395	0.00069
rad	16.9	0.0	22.1	0.0	0.5	38.5

LAMPIRAN 2

Lampiran Proses Pengelasan



LAMPIRAN 3
Lampiran Hasil Pengelasan



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Redha Januar Ramadhan lahir di Cirebon, Jawa Barat pada hari Jumat, 26 Januari 1996. Penulis merupakan putra sulung Bapak Herry Heryawan dan Ibu Teti Maryati dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Al-Muhajirin Cirebon, SDN Sadagori 1, SMPN 4 Kota Cirebon, dan SMAN 2 Kota Cirebon. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014.

Selama berkuliah di ITS, penulis turut aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan, diantaranya di Himpunan Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Departemen Hubungan Luar (2015-2016), Kepala Departemen Hubungan Luar (2016-2017), Staf Departemen Media Komunikasi dan Informasi di Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi Material se-Indonesia (PM3I). Dalam bidang akademik, penulis aktif sebagai Koordinator Asisten Laboratorium Kimia Material. Masa perkuliahan penulis diakhiri dengan melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektroda Las terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Hasil Pengelasan Biscrad 600 Menggunakan SMAW”.

Pengalaman kerja yang pernah diikuti penulis yaitu kerja praktek di PT.Krakatau Steel divisi *Cold Rolling Mill* Cilegon pada bulan Juli hingga Agustus 2017. Penulis dapat dihubungi melalui 082230363551 dan email redha.januar16@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)